

Nástroj pro výpočet slunečního záření s orientací na solární elektrárny

Tool for Sun Power Calculation for Solar Systems

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Paluch**

Studijní program: N2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor: 2612T025 Informatika a výpočetní technika

Téma: **Nástroj pro výpočet slunečního záření s orientací na solární elektrárny**
Tool for Sun Power Calculation for Solar Systems

Zásady pro vypracování:

1. Zaměřte se na problematiku výpočtu slunečního záření na zvolenou plochu. Doplněte své znalosti na základě bakalářské práce.
2. Cílem práce je implementovat aplikaci zaměřenou na problematiku výpočtu úhrnu slunečního záření s možností rozšíření o faktory ovlivňující toto záření, povětrnostní podmínky, roční období atd.
3. Dále se zaměřte na problematiku stínění slunečního záření ve vybrané oblasti, na základě globálních ukazatelů (charakter a sklon terénu) a lokálních ukazatelů pomocí stacionárního měření v aplikované oblasti za pomoci fotoaparátu nebo mobilního telefonu.
4. Dále se zaměřte na tvorbu základního modelu budov s různými typy střech a ploch vhodných pro instalaci solárního zařízení. Budovy vizualizujte v mapě a proveďte výpočet odhadovaného úhrnu slunečního záření na jednotlivé plochy objektu.
5. V poslední řadě se zaměřte na vhodné a efektivní rozmístění solárních panelů a solárních polí na vybranou plochu. Zkoušejte dynamicky měnit parametry rozmístění a sklonu pro co nejefektivnější účinnost solárního systému.
6. Dosažené výsledky srovnajte s existujícími řešeními a publikujte na vhodné vědecké konferenci.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Suri, M., Huld, T.A., Dunlop, E.D., Ossenbrink, H.A.: Potential of Solar Electricity Generation in the European Union Member States and Candidate Countries. In: Solar energy 2007. LNCS, vol. 81, issue 10, pp. 1295{1305 (2007)
2. Huld, T., Suri, M., Dunlop, E.D.: Comparison of Potential Solar Electricity Output From Fixed-inclined and Two-axis Tracking Photovoltaic Modules in Europe. In: Progresss in photovoltaics 2008. LNCS, vol. 16, issue 1, pp. 47{59 (2008)
3. Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps, <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>
4. Suri, M., Huld, T., Cebecauer, T., Dunlop, E.D.: Geographic Aspects of Photovoltaics in Europe: Contribution of the PVGIS Website. In: IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing 2008. LNCS, vol. 1, issue 1, pp. 34{41 (2008)

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Radoslav Fasuga, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 30. dubna 2012

.....*Paluch*.....

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu, Ing. Radoslavu Fasugovi, Ph.D, za jeho vedení, cenné rady a celkovou, jak pedagogickou, tak i odbornou pomoc, bez níž by tato diplomová práce nevznikla.

Abstrakt

Diplomová práce je zaměřena na problematiku výpočtu slunečního záření fotovoltaických systémů a jejich vizualizaci ve 2D a 3D prostředí. V úvodní části práce je věnována pozornost problematice fotovoltaických systémů, konkrétně popisu existujících nástrojů: *Fotovoltaického geografického informačního systému* a aplikace *PVsyst*. Obsahem druhé, teoretické, části je popis vstupních dat nadmořských výšek – *Globálního výškového modelu ASTER GDEM 2. verze* a vlastních dat zastínění terénu, jejich výpočtu. Dále jsou v této části popisovány výpočty rozmístění, optimální vzdálenosti a orientace fotovoltaické konstrukce, a výpočet vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu. Poslední, praktická, část této práce je zaměřena na samotný vývoj a testování vlastních aplikací, desktopové, webové a mobilní. V závěru této části je vlastní řešení srovnáváno s uvedenými existujícími nástroji.

Klíčová slova: Sluneční záření, Fotovoltaika, Zastínění terénu, Vizualizace, Fotovoltaický geografický informační systém, PVGIS, PVsyst, SRTM, ASTER GDEM, Webové služby

Abstract

This Master Thesis is focused on calculation of solar radiation on photovoltaic systems and their visualization in 2D and 3D environment. In the introductory part is attention devoted to photovoltaic systems, namely to the description of existing tools: *Photovoltaic Geographical Information System* and application *PVsyst*. The content of the second, theoretical, part is description of elevation input data – *ASTER GDEM version 2* and own terrain shading data, their calculation. This part also described calculations of deployment, optimal distance and orientation of photovoltaic constructions, and calculations of distance and height by using mobile phone. Last, the practical part of this thesis is focused on the development and testing of custom applications, desktop, web and mobile. In conclusion of this part is custom solution compared with the existing tools.

Keywords: Solar radiation, Photovoltaic, Terrain shading, Visualization, Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS, PVsyst, SRTM, ASTER GDEM, Web services

Seznam použitých zkratk a symbolů

AGDEM	– Global Digital Elevation Model
AJAX	– Asynchronous JavaScript and XML
ASCII	– American Standard Code for Information Interchange
ASP	– Active Server Pages
ASTER	– Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
cca	– cirka
cit.	– citováno
CSS	– Cascading Style Sheets
DEM	– Digital elevation model
DLL	– Dynamic-link library
DVD	– Digital Versatile Disc
SRTM	– Shuttle Radar Topography Mission
EU	– Evropská unie
FV	– fotovoltaika
FVP	– fotovoltaický panel
FVS	– fotovoltaický systém
FKV	– fotovoltaická konstrukce
GPS	– Global Positioning System
IS	– Informační systém
např.	– například
PNG	– Portable Network Graphics
PVGIS	– Photovoltaic Geographical Information System
SSL	– Secure Sockets Layer
tzv.	– takzvaný
URL	– Uniform Resource Locator
USA	– Spojené státy americké
VŠB – TUO	– Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava
WCF	– Windows Communication Foundation
WPF	– Windows Presentation Foundation
XML	– Extensible Markup Language

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Problematika fotovoltaických systémů	1
1.2	Vstupní data a výpočty	1
1.3	Vývoj a testování aplikací	2
2	Existující nástroje	3
2.1	Fotovoltaický geografický informační systém	3
2.1.1	Interaktivní mapy	4
2.1.2	Mapy zemí	5
2.1.3	Animace slunečního záření	5
2.1.4	Mapy a animace teplot	6
2.1.5	Data ke stažení	6
2.1.6	Shrnutí	7
2.2	PVsyst	7
2.2.1	Předběžný návrh	7
2.2.2	Návrh projektu	8
2.2.3	Nástroje	10
2.2.4	Shrnutí	11
3	Vstupní data	12
3.1	Globální výškový model ASTER GDEM 2. verze	12
3.2	Stažení dat a jejich úprava pomocí VTBuilder	13
3.3	Srovnání verzí ASTER GDEM	14
3.4	Komprimace souborů	15
4	Výpočty	16
4.1	Výpočet dat zastínění terénu	16
4.1.1	Uložení dat zastínění terénu	17
4.2	Výpočet rozmístění FVK	18
4.3	Výpočet optimální vzdálenosti a orientace konstrukcí FVP	19
4.4	Výpočet vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu	19
4.4.1	Výpočet vzdálenosti	20
4.4.2	Výpočet výšky	20
5	Vlastní aplikace	22
5.1	Desktopová aplikace	23
5.1.1	Spuštění aplikace	24
5.1.2	Hlavní okno aplikace	24
5.1.3	Nastavení výpočtu slunečního záření	30
5.1.4	Nastavení konstrukce FVP	31
5.1.5	Výpočty slunečního záření	31
5.1.6	Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů	32

5.1.7	3D vizualizace budov	35
5.1.8	3D vizualizace terénu	37
5.2	Webová aplikace	38
5.2.1	Hlavní stránka aplikace	38
5.2.2	Nastavení výpočtu slunečního záření a konstrukce FVP	40
5.2.3	Výpočty slunečního záření	40
5.2.4	Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů	40
5.3	Windows Phone aplikace	40
5.3.1	Hlavní stránka aplikace	41
5.3.2	Stránka Mapa	42
5.3.3	Stránka Zaznamenání ploch	44
5.3.4	Návrh Windows Phone aplikace	45
5.4	Webové služby	45
5.4.1	Autentizační služba	46
5.4.2	Databázová WCF služba	47
5.4.3	Webové služby poskytující výpočty	50
5.4.4	Ostatní webové služby	50
6	Testování vlastních aplikací	51
6.1	Testování desktopové aplikace	51
6.2	Testování webové aplikace	51
6.3	Testování Windows Phone aplikace	53
6.4	Porovnání řešení s popsányi nástroji	53
6.5	Možné rozšíření vlastních aplikací	54
7	Závěr	57
	Literatura	58
	Seznam příloh	61

Seznam tabulek

1	Základní parametry dat PVGIS	6
2	Základní parametry ASTER GDEM 2. verze	13
3	Srovnání velikostí nekomprimovaných a komprimovaných datových souborů nadmořských výšek	15
4	Popis parametrů pro výpočet výkonu konstrukcí FVP	34
5	Popis kontextové nabídky budovy	36
6	Porovnání vlastních výstupů a výstupů PVGIS pro bod bez sklonu	53
7	Porovnání vlastních výstupů a výstupů PVGIS pro bod se sklonem 35° . .	54

Seznam obrázků

1	Hlavní stránka Fotovoltaického geografického informačního systému . . .	3
2	Uživatelské prostředí Fotovoltaického geografického informačního systému – Interaktivních map	4
3	Hlavní okno programu PVsyst	8
4	Dialogové okno programu PVsyst zobrazující model FVS	9
5	Rozvržení modulů v programu PVsyst	10
6	Obrázek odvozený z dat ASTER GDEM 2. verze [11]	13
7	Znázornění oblasti, kterou pokrývají soubory dat dostupné s aplikací . . .	14
8	Aplikace VTBuilder s otevřeným dialogem pro export vrstvy	14
9	Srovnání jednotlivých verzí globálního výškového modelu ASTER GDEM	15
10	Znázornění výpočtu zastínění terénu	16
11	Znázornění části dvojic azimutů a výšek Slunce, pro které byl výpočet pro- veden	17
12	Příklad výpočtu ročního slunečního záření v desktopové aplikaci, jehož výstupem je optimální vzdálenost a orientace FVK	19
13	Schematické vyobrazení výpočtu vzdálenosti objektu	21
14	Zjednodušená ilustrace výpočtu výšky objektu	21
15	Základní část třídního diagramu základní knihovny DLL	23
16	Hlavní okno desktopové aplikace	24
17	Ilustrace správného (vlevo) a chybného (vpravo) vykreslování objektů do mapy	26
18	Srovnání mapových podkladů projektu OpenStreetMap a poskytovaných společností Google	27
19	Hierarchie tříd vrstev mapy	28
20	Hlavní okno desktopové aplikace se zobrazenou vrstvou rozmístění FVK	29
21	Hlavní okno desktopové aplikace s vykreslenou vrstvou nadmořská výška a se zobrazeným seznamem uložených ploch v hlavní nabídce	30
22	Dialogové okno desktopové aplikace pro nastavení výpočtu slunečního záření	31
23	Dialogové okno desktopové aplikace, které slouží pro nastavení konstrukce FVP	32
24	Příklad výstupu výpočtu denního slunečního záření pro zadanou plochu v dialogovém okně Výpočty slunečního záření desktopové aplikace	33
25	Okno Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů se zobrazeným výsled- kem výpočtu výkonu konstrukce FVP	34
26	3D vizualizace budov	35
27	Hlavní stránka webové aplikace se zobrazenou vrstvou rozmístění FVK .	39
28	Dialogové okno výpočtů konstrukcí fotovoltaických panelů s příkladem výpočtu počtu konstrukcí FVP	41
29	Hlavní stránky Windows Phone aplikace	42
30	Stránka Mapa Windows Phone aplikace se zaznamenanou plochou	43
31	Stránka ve Windows Phone aplikaci sloužící pro zaznamenání ploch . . .	44

32	Návrh jednotlivých stránek Windows Phone aplikace	46
33	Schéma interakce stránek Windows Phone aplikace	46
34	Třídní diagram webových služeb	47
35	Sekvenční diagram pro přihlášení a odhlášení uživatele	48
36	Schéma tabulky pro uložení ploch v databázi	49
37	Diagram případů užití správy ploch v databázi	49
38	Znázornění komunikace mezi jednotlivými moduly FVS	50
39	Rozpoznání (vektorizace) budov v mapě	55

Seznam výpisů zdrojového kódu

1	Struktura souboru projektu 3D vizualizace budov	37
2	Propojení WCF služeb na skriptovací manažer	38
3	Kontrakt databázové služby IDataServiceWCF	47
4	Implementace kontraktu IDataServiceWCF databázové služby	48

1 Úvod

Elektřina je pro technickou společnost jednou z nejdůležitějších forem energie. Většinu z dnes používaných zdrojů pro elektrickou energii tvoří fosilní paliva. Jejich zásoby však nejsou nevyčerpatelné, což nemusí být však jejich největší problém. Dalším, a v poslední době jejich často diskutovaným problémem, je uvolňování různých látek, jako například metanu a oxidu uhličitého, při jejich zpracování do zemské atmosféry čímž podporují diskuze o globálním oteplování. Jednou z tzv. obnovitelných a dalo by se říct nevyčerpatelných forem energie je energie sluneční, i když i ta jednou dojde, ale tato úvaha již nezapadá do rámce této diplomové práce. Díky termojaderné fúzi probíhající ve Slunci dopadá na zemský povrch sluneční záření okolo 1360 W na každý m^2 , kdy přibližně polovina z této energie připadá na oblast viditelného světla. Pro Českou republiku je odhadována intenzita slunečního záření na $900 - 1500\text{ kW/m}^2$ [1] [2], což již na malé ploše je mnohem více energie, než by dokázala spotřebovat jedna malá domácnost. Vždyť většina rostlin i živočichů na naší planetě „žijí“ díky této energii, tak proč by nemohl i člověk a jeho technické nároky. Pro přeměnu sluneční energie na jinou formu energie se používá několik druhů zařízení, pro přeměnu sluneční energie v elektrickou energii se v dnešní době používají elektrické články, jejichž problematikou se zabývá také tato práce. Diplomová práce je rozdělena následovně do tří částí:

1. První část této diplomové práce je věnována problematice fotovoltaických systémů, popisu existujících aplikací.
2. V druhé části jsou popsány vstupní data používaná v rámci vlastních aplikací, a dále také výpočty poskytované těmito aplikacemi.
3. Třetí a poslední část se zabývá vývojem vlastních aplikací a jejich testováním.

1.1 Problematika fotovoltaických systémů

Obsahem této teoretické části je stručný popis existujících aplikací, které se zabývají problematikou fotovoltaických systémů (FVS). Jedná se o tyto dva nástroje:

- *Fotovoltaický geografický informační systém,*
- *aplikaci PVsyst.*

Tato část se nachází v druhé kapitole.

1.2 Vstupní data a výpočty

Druhá, teoretická část, diplomové práce se věnuje popisu vstupních dat nadmořských výšek a dat zastínění terénu, jejich porovnání a úpravě formátu uložení. Dále jsou vysvětleny výpočty rozmístění a optimální vzdálenosti a orientace fotovoltaických konstrukcí (FVK), spolu s algoritmem na zjištění vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu. Tato část je popsána ve třetí a čtvrté kapitole.

1.3 Vývoj a testování aplikací

V praktické části je hlavní důraz kladen na samotný vývoj a testování vlastních aplikací. V rámci diplomové práce byly vyvíjeny tři aplikace:

1. desktopová aplikace,
2. webová aplikace,
3. Windows Phone aplikace.

Pokračování ve vývoji desktopové aplikace bylo z důvodu dostupných technologií, například pro 3D vizualizace. Webová aplikace je dalo by se říct desktopovou aplikací přenesenou do webového prostředí, protože až na 3D vizualizace poskytuje stejné prostředí a funkce. Byla vyvíjena i z důvodu, že je součástí komplexního systému zabývajícího se problematikou FVS. Aplikace pro systém Windows Phone slouží pro zaznamenání ploch ve venkovním prostředí, kdy s těmito zaznamenanými plochami lze dále pracovat jak v desktopové tak i webové aplikaci. V závěru kapitoly věnované testování aplikací se nachází porovnání vlastních aplikací s uvedenými existujícími nástroji.

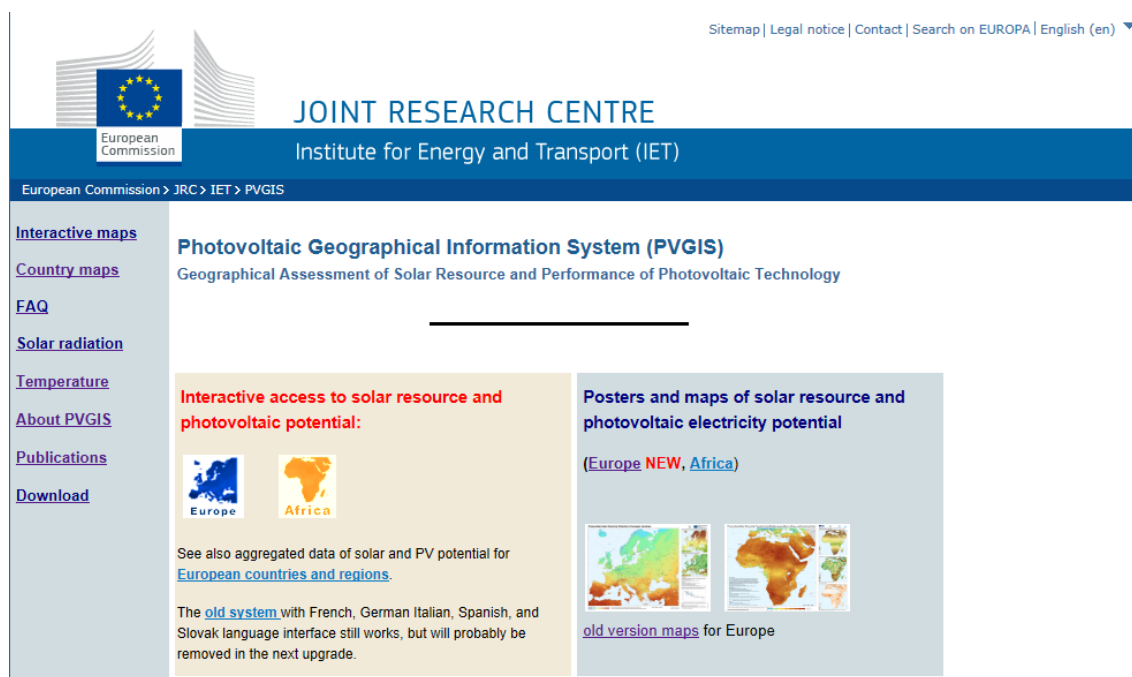
Tato část se nachází v páté a šesté kapitole této diplomové práce.

2 Existující nástroje

Získávání energie z alternativních zdrojů a její přeměna na elektrickou energii je v poslední době stále více populární [3]. Pro usnadnění návrhu FVS vzniklo několik aplikací, systémů, které se snaží jednak návrh FVS usnadnit a jednak i optimalizovat. Tato kapitola se zabývá popisem dvou takových aplikací, systémů, který slouží pro základní seznámení s těmito nástroji a dále pro porovnání jejich funkcí s vlastními aplikacemi. Prvním systémem je jednodušší, ale bezplatný webový portál *Fotovoltaický geografický informační systém*, druhou popisovanou aplikací je placená profesionální aplikace *PVsyst*.

2.1 Fotovoltaický geografický informační systém

Jedním z webových portálů věnovaných problematice fotovoltaických systémů je portál Evropské unie – *Fotovoltaický geografický informační systém* (Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS) [4] [5] (Obrázek 1). Jedná se o komplexní portál, který poskytuje mapové zdroje slunečního záření a posouzení výroby elektrické energie z fotovoltaických systémů pro Evropu, Afriku a severozápadní Asii.



Obrázek 1: Hlavní stránka Fotovoltaického geografického informačního systému

Hlavními částmi portálu jsou:

- *Interaktivní mapy (Interactive maps)*,
- *Mapy zemí (Country maps)*,

- Sluneční záření (Solar radiation),
- Teploty (Temperature),
- Data ke stažení (Download).

Dále jsou popsány jednotlivé možnosti nabízené těmito částmi portálu.

2.1.1 Interaktivní mapy

Nástroj interaktivních map (Obrázek 2) je stěžejní částí celého portálu. Slouží jak k vizualizaci jednotlivých dat dostupných z celého systému, tak k výpočtu výkonu FVS, měsíčního a ročního globálního slunečního záření.

The screenshot displays the 'Photovoltaic Geographical Information System - Interactive Maps' interface. The top navigation bar includes logos for JRC, CM SAF, and SOLAREC, along with a search bar and a 'Search' button. The main map area shows a geographical view of Central Europe with a color-coded overlay representing solar radiation levels. A legend at the bottom indicates the radiation scale in kWh/m², ranging from 500 to 2200. On the right side, the 'Performance of Grid-connected PV' form is visible, featuring sections for 'PV Estimation', 'Fixed mounting options', 'Tracking options', and 'Output options'. The form includes input fields for 'Radiation database', 'PV technology', 'Installed peak PV power', 'Estimated system losses', 'Mounting position', 'Slope', 'Azimuth', and 'Tracking options'. It also has checkboxes for 'Optimize slope', 'Also optimize azimuth', 'Vertical axis', 'Inclined axis', and '2-axis tracking'. The 'Output options' section includes checkboxes for 'Show graphs' and 'Show horizon', and radio buttons for 'Web page', 'Text file', and 'PDF'. A 'Calculate' button and a '[help]' link are located at the bottom of the form.

Obrázek 2: Uživatelské prostředí Fotovoltaického geografického informačního systému – Interaktivních map

Všechny možnosti, které poskytují tyto interaktivní mapy, jsou podrobně popsány v mé bakalářské práci [6]. Nově je ale od 20. 9. 2010 nabízena nová verze interaktivních map[7], která nabízí následující vylepšení:

- Novou databázi slunečního záření (*Climate-SAF*) jak pro území Evropy, tak i Afriky. Při výpočtech je možné zvolit, která databáze se bude používat.
- Novou databázi teplot pro Evropu.
- Aktualizované informace horizontů pro Evropu a Afriku.
- Možnost použití vlastních informací horizontu namísto horizontů vypočtených PV-GIS.

2.1.2 Mapy zemí

Poskytované volně dostupné mapy zemí a oblastí představují roční součet globálního slunečního záření. Jsou k dispozici buď jednotlivě pro všechny země evropského kontinentu, nebo jako mapy následujících oblastí:

- celá Evropa,
- středomořský region,
- alpský region.

Jednotlivé mapy zemí jsou k dispozici pro vodorovný povrch a pro povrch s optimálním sklonem. Mapy ilustrují 10letý průměr roků 1981–1990 v kWh/m^2 . V jednotlivých mapách je obsažena i legenda pro potenciální elektrickou energii vygenerovanou 1 *kwp* systémem, fotovoltaickými moduly s optimálním sklonem a účinností 75%.

2.1.3 Animace slunečního záření

V této části systému jsou k dispozici následující mapy slunečního záření:

- Mapa optimálního sklonu jižním směrem orientované plochy tak, aby suma ročního slunečního záření byla co největší.
- Mapy ročního průměru denních součtů globálního slunečního záření pro vodorovnou plochu a plochu s optimálním sklonem s jižní orientací.
- Mapa procentního poměru součtu čtyř letních měsíců (květen až srpen) k celkovému ročnímu globálnímu slunečnímu záření na vodorovné ploše.
- Krabicový graf celkového globálního záření na vodorovné ploše pro 25 evropských členských států.

- Roční celkové globální sluneční záření na vodorovné ploše jako průměr jednotlivých regionů.
- Roční celkové globální sluneční záření na vodorovné ploše.
- Mapa ročního celkového globálního slunečního záření při čisté obloze sníženého o zastínění terénem.

Průměrné globální sluneční záření na vodorovné ploše pro Evropu činí $1096 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$, na základě databáze PVGIS.

Dále se tato část systému zabývá popisem výpočtu slunečního záření, tvorbou databáze PVGIS a poskytuje odkazy na celosvětové databáze slunečního záření.

2.1.4 Mapy a animace teplot

Mapy a animace teplot v části věnované teplotám pocházejí z dat databáze, která umožňuje výpočet okolní teploty pro jakýkoliv den a pozici evropského kontinentu. Data mají prostorové rozlišení $1 \times 1 \text{ km}$ a byly vytvořeny prostorovou interpolací měsíčního průměru sedmi denních teplot. Všechny data představují měsíční průměry období 1995–2003.

Mapy teplot jsou v dispozici pro měsíc leden a červenec, a to vždy ve verzích pro minimální, maximální a průměrné denní teploty vzduchu. Animace teplot jsou dostupné také pro leden a červenec jako jednodenní animace po 15 minutách průměrných denních teplot daného měsíce. Dále je k dispozici roční animace sezónních změn teplot po měsíci od ledna do prosince.

2.1.5 Data ke stažení

V této sekci je umožněno stáhnout volně dostupné data (stejně jako všechny ostatní dostupné soubory s podmínkou uvedení zdroje a zasláním kontaktního e-mailu na uvedené adresy) jako například roční součet globálního slunečního záření pro svislou, vodorovnou a pro plochu s optimálním povrchem, dále data optimálního sklonu pro FV moduly orientované na jih. Tato data jsou poskytována jako průměr pro období 1981–1990. Kromě těchto dat jsou k dispozici také různá data průměrných teplot z období 1995–2003.

Velikost buňky	5 x 5 úhlový stupeň
Zeměpisné souřadnice	Zeměpisná šířka a délka
Výstupní formát DEM	ARC/INFO ASCII GRID, Souřadnicový systém WGS84/EGM96
Pokrytí	72° severní šířky – 32°30' jižní šířky (474 buněk), 45° východní délky – 27° západní délky (864 buněk)

Tabulka 1: Základní parametry dat PVGIS

2.1.6 Shrnutí

Jedná se o systém, jehož nástroje jsou užitečné pro zjišťování různých informací při návrhu FVS jako jsou například odhadovaný výkon FVS, statistiky složek slunečního záření, různých průměrných teplot a například i údajů o doporučeném optimálním sklonu FVP. Dílčí nástroje se nezabývají přímo návrhem FVS. Nástroj interaktivních map nabízí velké možnosti nastavení výpočtů a údajů výstupů, ale jedinou hodnotou výstupu, která je vhodná pro samotný návrh FVS je *Optimální sklon*, protože nástroj neprovádí žádné výpočty v rozmezí zadaných hodnot, ze kterých by zvolil tu neoptimálnější.

2.2 PVsyst

Desktopová aplikace *PVsyst* [8] švýcarské společnosti je profesionálním placeným fotovoltaickým nástrojem pro architekty, inženýry, výzkumné pracovníky a také pro pedagogickou činnost. Zabývá se komplexním návrhem a volbou optimální konfigurace FVS. Aplikace rovněž obsahuje rozsáhlé databáze komponent FVS. Dále obsahuje podrobnou nápovědu pro popis postupů a modelů pro vývoj samotného projektu. Aplikace zároveň podporuje import meteorologických dat, jak z vlastních, tak cizích zdrojů. Výstupem aplikace je podrobná zpráva, s tabulkami a grafy, samozřejmě s možností exportu těchto dat.

Program nabízí tři typy nástrojů (Obrázek 3):

1. *Předběžný návrh (Preliminary design)*,
2. *Návrh projektu (Project design)*,
3. *Nástroje (Tools)*.

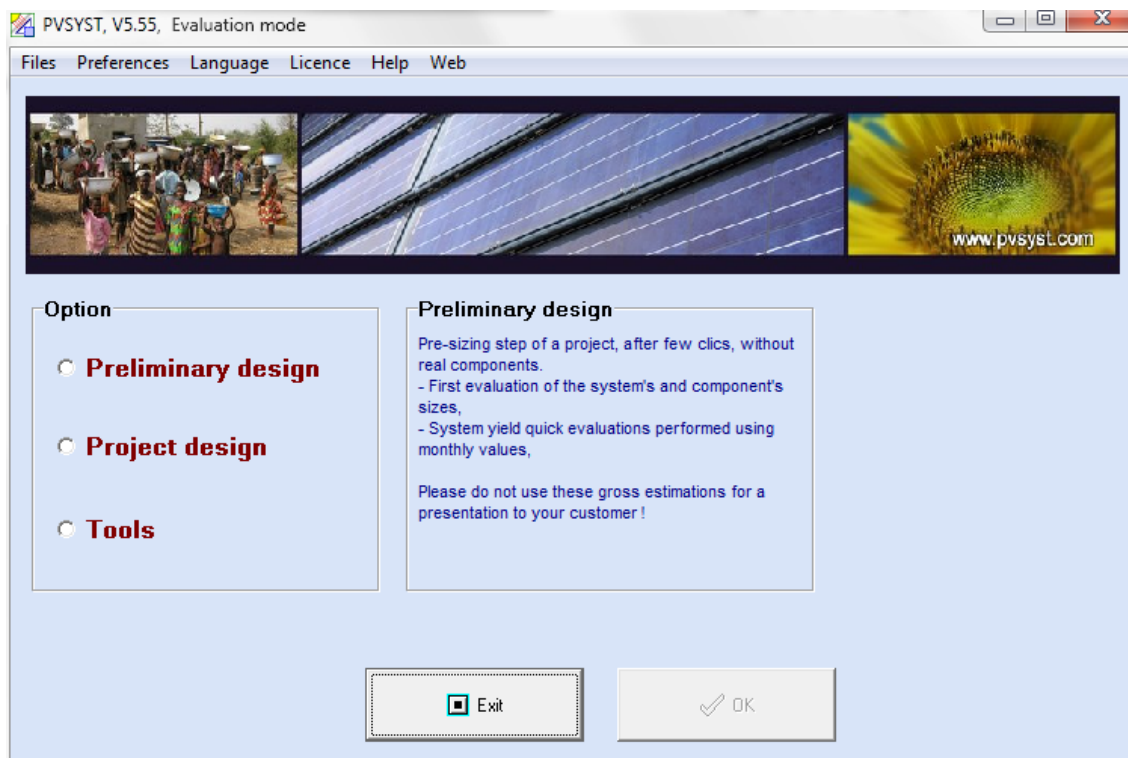
Podle vybraného nástroje návrhu je umožněno navrhovat až tyto čtyři následující typy FVS:

1. *Připojené k veřejné síti (Grid-Connected)*,
2. *Samostatný FVS (Stand alone)*,
3. *Pro ohřev vody (Pumping)*,
4. *Připojené k stejnosměrné síti (DC Grid)*.

2.2.1 Předběžný návrh

Předběžný návrh slouží k rychlému odhadu produkce na začátku návrhu FVS. Je určen především pro architekty. Samotné ovládání tohoto nástroje není složité, protože požaduje pouze malé množství vstupních údajů. Návrh FVS je rozčleněn na tři kroky:

1. *Pozice (Location)* – tento krok slouží pro zadání názvu projektu, pozice a případně horizontu.



Obrázek 3: Hlavní okno programu PVsyst

2. *Systém (System)* – v tomto kroku se provádí nastavení plochy FVP buď podle aktivní plochy, nominálního výkonu, nebo podle požadovaných MWh za rok. Dále je v tomto kroku umožněno zadat nastavení sklonu, orientace a dalších parametrů FVP a jejich umístění.
3. *Výsledky (Results)* – poslední krok slouží jako výstup pro zadané parametry. Výstupem jsou grafy a tabulky slunečního záření, výkonnosti a shrnutí ekonomické části projektu.

2.2.2 Návrh projektu

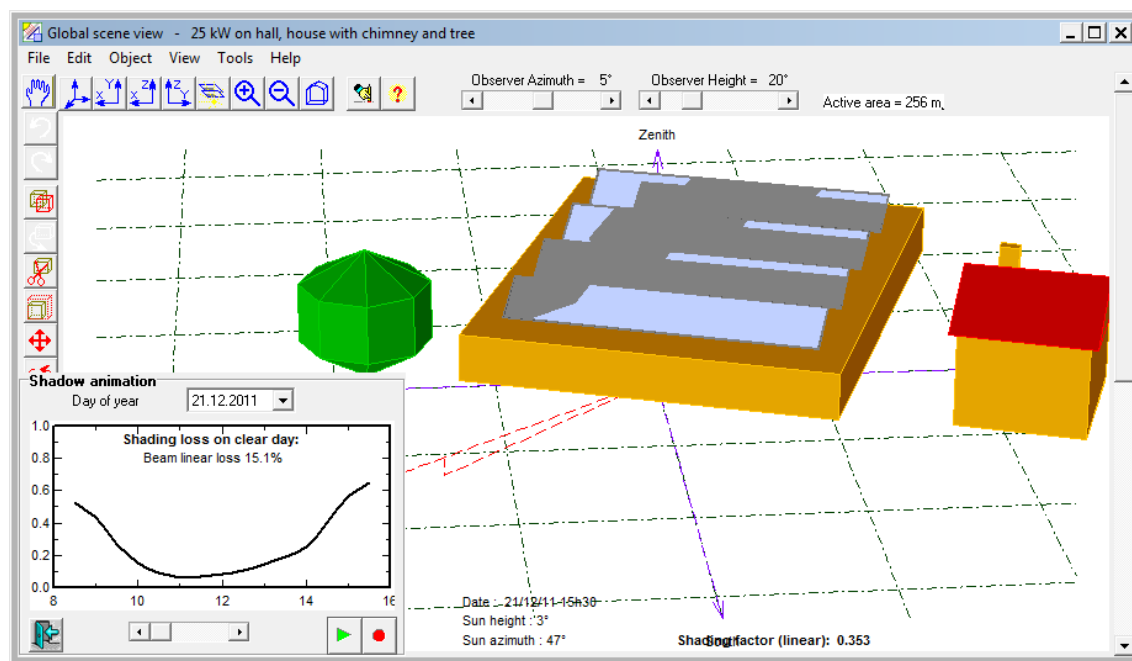
Tento nástroj je přímo zaměřen na inženýrský návrh FVS. Nabízí velký počet FV komponent, podrobné nastavení FVP a jejich rozmístění.

V tomto nástroji je návrh všech podporovaných typů FVS rozčleněn na následující kroky (jednotlivé kroky jsou dostupné na základě splnění podmínek dostupnosti zadaného kroku, splnění kroku je signalizováno zeleným, nesplnění červeným textem na tlačítku):

1. *Projekt (Project)* – tento krok je potřebný pro samotné definování projektu. Hlavní položkou je název. Ostatní údaje jsou volitelné, jako například informace o zákaz-

níkoví. Dále je potřebné zadat hodnoty pro sluneční záření, odrazivost, teplotu a mnohé další. Tyto údaje je možné vybrat z připravených databází těchto údajů.

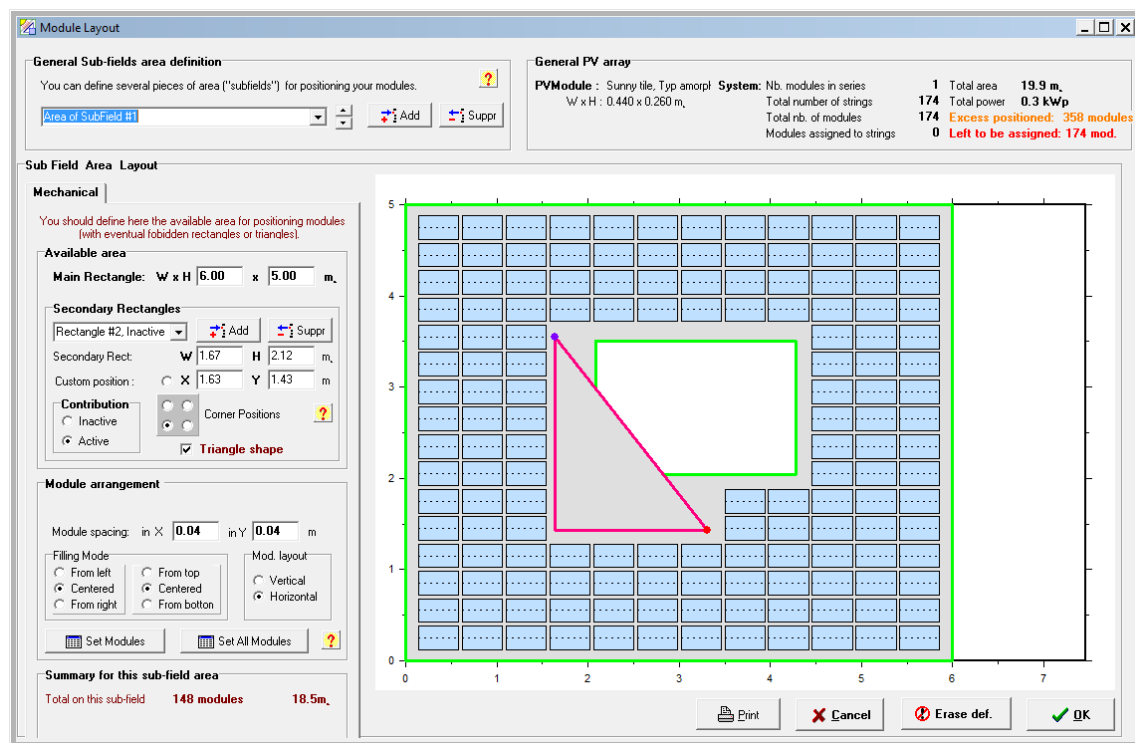
2. *Orientace (Orientation)* – slouží pro nastavení typu pole, jeho orientace a sklonu. Orientaci a sklon lze interaktivně měnit tak, aby byly zvoleny optimální hodnoty.
3. *Horizont (Horizon)* – v tomto kroku se definuje horizont a odrazivost. Tyto údaje slouží pro výpočet vzdáleného zastínění.
4. *Blízké stínění (Near shading)* – tento krok umožňuje vytvořit model a vizualizovat ve 3D celý systém, a to pomocí nástroje 3-D CAO. Do modelu (Obrázek 4) je možné přidat jak samotná fotovoltaická pole, tak různé překážky, jako jsou například budovy a stromy. Hlavním úkolem v tomto kroku je ale výpočet blízkého zastínění na základě modelu a pozice slunce. Dále je možné provést animaci zastínění pro zadaný den. Výstupem tohoto kroku je tabulka a graf blízkého zastínění. Vytvořené modely lze ukládat a načítat, případně lze model a výstup výpočtu tisknout.



Obrázek 4: Dialogové okno programu PVsyst zobrazující model FVS

5. *Systém (System)* – v tomto kroku se nastavuje samotný FVS. Nastavení je závislé na typu zvoleného FVS na začátku návrhu. Vždy je možné vybrat z databáze potřebné komponenty FVS.
6. *Rozvržení modulů (Module layout)* – předposlední krok slouží k návrhu rozložení fotovoltaických modulů nezávisle na návrhu elektrického zapojení (Obrázek 5). Je umožněno nastavit požadované rozměry plochy a její překážky, popřípadě aktivní

oblasti (obdélníkového nebo trojúhelníkového tvaru). Rozmístění modulů probíhá interaktivně – již rozmístěné moduly lze kliknutím pravým tlačítkem myši odstranit, případně smazaný modul lze opětovně pomocí kliknutí levým tlačítkem myši přidat.



Obrázek 5: Rozvržení modulů v programu PVsyst

7. *Simulace (Simulation)* – poslední krok návrhu FVS, jehož výstupem je nepřehledné množství tabulek, grafů a tiskových sestav. Jedná se například o údaje slunečního záření, ztrátách a účinnosti systému. Většinu údajů v grafech lze zobrazit pro hodiny, dny a měsíce. Součástí simulace je ekonomické zhodnocení celého FVS. Samozřejmě, jako v celém programu, jsou rozsáhlé možnosti exportu všech dat, například do souboru formátu ASCII nebo do souboru aplikace Microsoft Excel.

2.2.3 Nástroje

V tomto nástroji je možné spravovat meteorologické databáze. Program disponuje databázemi z více jak 330 stránek na světě. Je umožněn import oblíbených meteorologických zdrojů (například Meteonorm ¹, PVGIS-ESRA ² a mnoha dalších) i vlastních souborů ve formátu ASCII.

¹URL: <<http://www.meteotest.ch/en/>> [cit. 2012-03-01].

²URL: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>> [cit. 2012-03-01].

Dále je možná správa například databáze komponent, která poskytuje přes 7200 fotovoltaických modulů, 2000 invertorů, téměř 300 baterií a velkým počtem dalších komponent potřebných pro FVS.

Samotné databáze jsou často aktualizovány i několikrát ročně, a to vždy při uvolnění nové verze programu.

Zajímavou a další užitečnou funkcí je import reálných dat z FVS a jejich porovnání s výstupem aplikace.

2.2.4 Shrnutí

Mezi výhody patří velmi podrobné možnosti nastavení výpočtů, export a tisk výstupů. Jednotlivé nástroje aplikace jsou stále vyvíjeny, například pro rozložení modulů je v dalších verzích plánováno propojení s obdélníkovými oblastmi definovaných v 3D vizualizaci. Za obrovskou výhodu celé aplikace lze považovat také velmi podrobnou nápovědu, která je dostupná i v rámci jednotlivých kroků návrhu FVS.

Jedná se tedy co do poskytované funkčnosti o velmi kvalitní, stále vyvíjený nástroj. Uživatelská přívětivost programu ale již není tak dokonalá. Je používáno velké množství někdy nepřehledně uspořádaných, jindy různě barevných ovládacích prvků. Také některé popisky jsou kvůli nevhodně zvolené barvy podkladu a písma nečitelné (žlutý text na šedém pozadí). K dalším problémům během používání aplikace patřily často mnohásobné zprávy s různými upozorněními, které bylo nutné potvrdit. Dalším zajímavým zjištěním byla možnost volby Československa nebo Jugoslávie jako státu při výběru umístění FVS. Možná tyto položky svědčí o dlouholetém vývoji. Aktuální verze v době psaní této diplomové práce je 5.55. Dalším problémem aplikace jsou chyby a nečekané ukončení programu, například při změně velikosti okna při návrhu rozvržení modulů dojde k výjimce způsobené dělením nulou.

Protože se jedná o profesionální program, je určen tedy spíše pro osoby, které se v problematice FVS vyznají. Není určen pro osoby neseznámené s touto problematikou, pro ně by bylo velké množství vstupních voleb a výstupů zbytečně matoucí.

3 Vstupní data

Tato kapitola popisuje vstupní data, jejich verze, srovnání jednotlivých verzí, úpravu a komprimaci stažených vstupních dat.

Aplikace mohou nově, na rozdíl od aplikací v bakalářské práci, používat další typ souborů dat nadmořských výšek, které se používají při většině výpočtů v aplikacích, a to *Globální výškový model ASTER GDEM 2. verze*. Celkem tak mohou aplikace používat již tři druhy souborů dat nadmořských výšek:

1. Výškový model SRTM DEM [9],
2. Globální výškový model ASTER GDEM [10],
3. Globální výškový model ASTER GDEM 2. verze [11].

Vstupní data *Výškového modelu SRTM* a *Globálního výškového modelu ASTER GDEM* jsou podrobně popsána v mé bakalářské práci [6].

3.1 Globální výškový model ASTER GDEM 2. verze

3. října 2011 [12] japonské Ministerstvo ekonomie, obchodu a průmyslu (METI) a americká kosmická agentura NASA uvolnily společně druhou, zdokonalenou, volně dostupnou verzi *Globálního výškového modelu ASTER GDEM* [11]. ASTER je japonský multispektrální skener nesený družicí Terra, vypuštěný na zemský orbit americkou kosmickou agenturou NASA v roce 1999. Data jsou shromažďována od února roku 2000. Data ASTER nejsou používána pouze pro vytváření modelů nadmořských výšek, ale například i pro mapy teplot a odrazivosti povrchu. Druhá verze je vytvořena pomocí pokročilého algoritmu, který přinesl nejen následující vylepšení:

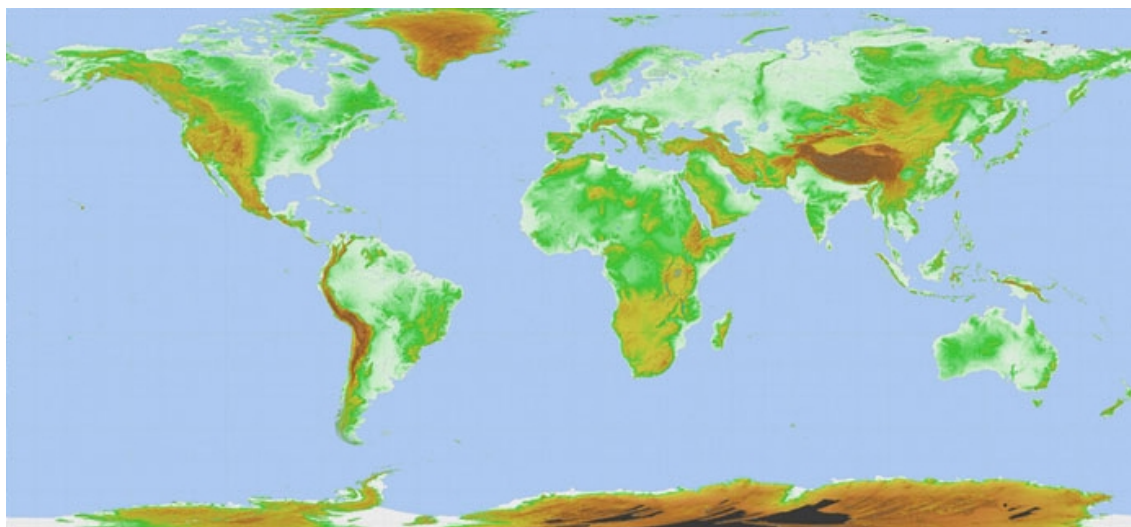
- zdokonalení prostorového rozlišení dat a horizontální a vertikální přesnosti,
- doplnění chybějících dat novými stereo-dvojicemi,
- vyhlazení vodních ploch,
- odstranění prostorových anomálií.

Celkem bylo zpracováno 1,5 miliónu stereo-dvojic společně s 350 000 novými stereo-dvojicemi získanými po uvolnění předchozí verze. Stereo-dvojice vzniká malým posunutím dvou 2D snímků z multispektrálního skeneru ASTER. Data ASTER GDEM 2. verze, stejně jako 1. verze, pokrývají pevninu mezi 83° severní šířky do 83° jižní šířky a jsou tvořeny 22 600 dlaždicemi, kde každá dlaždice představuje jeden úhlový stupeň. Data ASTER GDEM 2. verze jsou distribuována ve formátu souborů GeoTIFF, stejně jako původní verze.

Základní parametry ASTER GDEM 2. verze shrnuje Tabulka 2.

Velikost dlaždice	3601 x 3601 pixelů (1 x 1 úhlový stupeň))
Interval hodnot	1 úhlová vteřina (přibližně 30 metrů na rovníku)
Zeměpisné souřadnice	Zeměpisná šířka a délka
Výstupní formát DEM	16bitový GeoTIFF, Souřadnicový systém WGS84/EGM96
Pokrytí	83° severní šířky – 83° jižní šířky, 22 600 dlaždic

Tabulka 2: Základní parametry ASTER GDEM 2. verze



Obrázek 6: Obrázek odvozený z dat ASTER GDEM 2. verze [11]

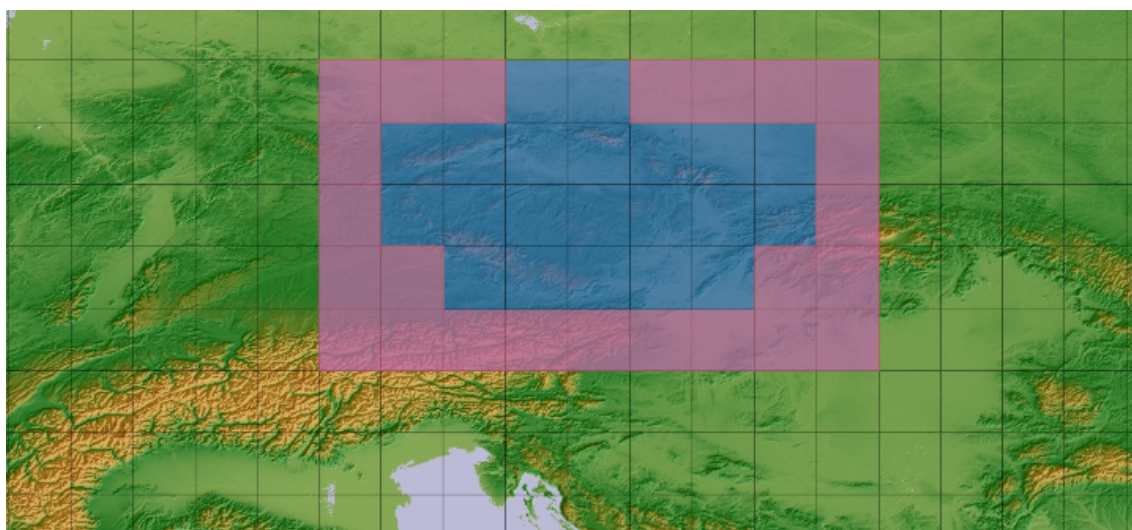
3.2 Stažení dat a jejich úprava pomocí VTBuilder

Jednotlivé dlaždice potřebné pro pokrytí území České republiky byly staženy z k tomu určených internetových stránek (například data SRTM ³, data ASTER GDEM ⁴). Na Obrázku 7 je červenou a modrou barvou znázorněna oblast pokrytou soubory, které byly staženy a jsou dostupné v aplikaci, a z nichž byla vygenerována data zastínění terénu (celkem 45 dlaždic). Pouze modrá barva znázorňuje oblast odpovídající minimálnímu pokrytí území České republiky (celkem 21 dlaždic).

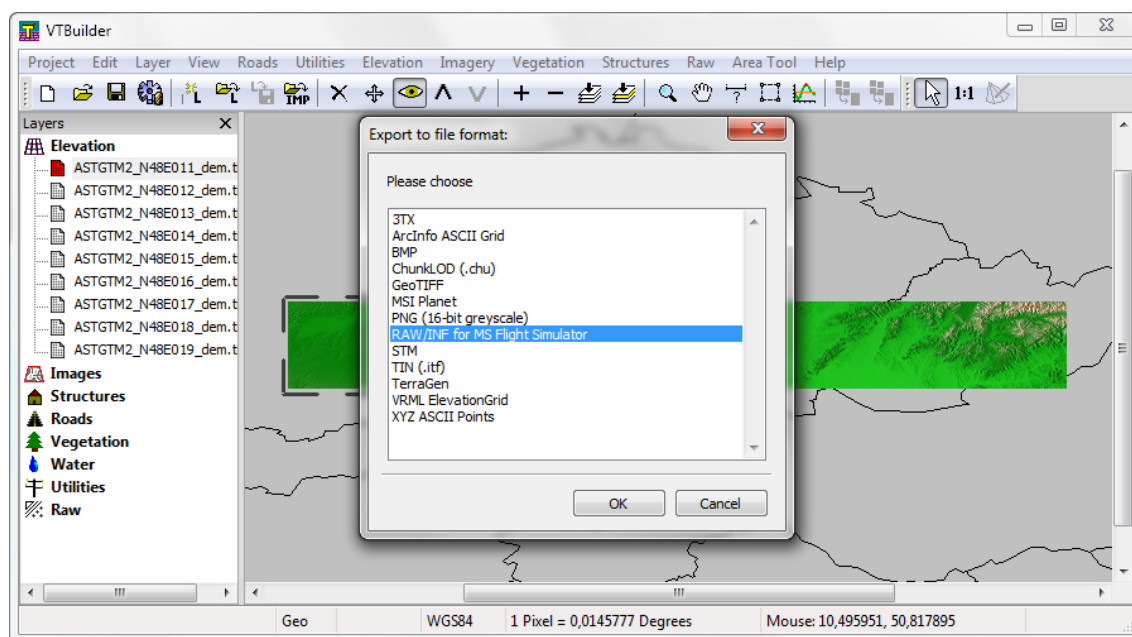
Jednotlivé stažené soubory byly poté postupně importovány do aplikace VTBuilder [13] (nabídka Layer -> Import Data -> položka Elevation) a následně postupně převedeny do formátu RAW/INF (Elevation -> Export To... -> položka RAW/INF for MS Flight Simulator, Obrázek 8), který je vhodný pro „chytré“ načítání souborů dat. Podrobné vysvětlení „chytrého“ načítání se nachází v části *Vlastní aplikace 5*.

³URL: <http://eros.usgs.gov/Find_Data/Products_and_Data_Available/Elevation_Products> [cit. 2012-03-01].

⁴URL: <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/index.jsp>> [cit. 2012-03-01].



Obrázek 7: Znáznornění oblasti, kterou pokrývají soubory dat dostupné s aplikací

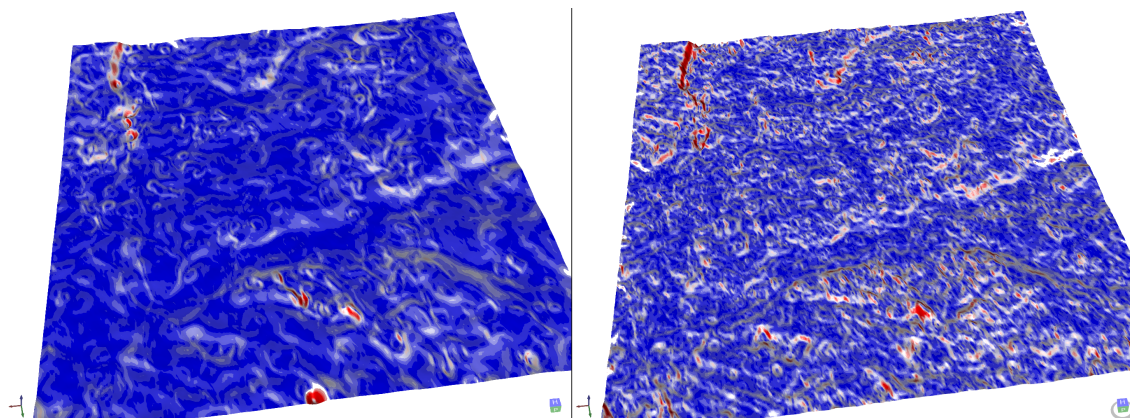


Obrázek 8: Aplikace VTBuilder s otevřeným dialogem pro export vrstvy

3.3 Srovnání verzí ASTER GDEM

Na následujícím Obrázku 9 lze vizuálně srovnat jednotlivé verze globálního výškového modelu ASTER GDEM. Na levé části obrázku je původní verze, vpravo verze druhá. Oba obrázky jsou výstupem z vlastních aplikací, konkrétně 3D vizualizace terénu. Už jen letným pohledem lze konstatovat, že druhá verze je podrobnější, zvýšení horizontálního

rozlišení z přibližně 120 m na 70 m je zcela patrné. Nevýhodou však je, že ve městech, kde byl terén v předchozí verzi plošší, vyhlazený, nyní vznikají různé vyvýšeniny, které již tak moc neodpovídají skutečnému reliéfu terénu.



Obrázek 9: Srovnání jednotlivých verzí globálního výškového modelu ASTER GDEM

3.4 Komprimace souborů

Pro zmenšení potřebného místa na disku, které zabírají datové soubory, bylo přistoupeno ke komprimaci a k zjišťování, zda komprimace nějakým způsobem ovlivní způsob načítání datových souborů. Pro komprimaci souborů RAW byl zvolen formát GZIP [14], který je vhodný pro komprimaci jednotlivých souborů. Komprimací nedošlo k žádnému zpomalení načítání souborů, naopak by se dalo říct, že se načítání souborů zrychlilo, i když pouze o desetiny sekund. Následující tabulka poskytuje srovnání velikostí nekomprimovaných a komprimovaných datových souborů nadmořských výšek:

Typ dat	Velikost před komprimací [MB]	Velikost po komprimaci [MB]	Kompresní poměr [%]
SRTM	123	54,9	44,6
ASTER GDEM	1 113	465	41,8
ASTER GDEM 2. verze	1 113	490	44,0

Tabulka 3: Srovnání velikostí nekomprimovaných a komprimovaných datových souborů nadmořských výšek

4 Výpočty

Ve vlastních aplikacích je použito několik komplexních algoritmů. Následující kapitoly se věnují výpočtu dat zastínění terénu a jejich uložení do souborů, dále výpočtu rozmístění FVK, výpočtu optimální vzdálenosti a orientace FVK a na závěr je věnována pozornost algoritmu pro zjištění vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu.

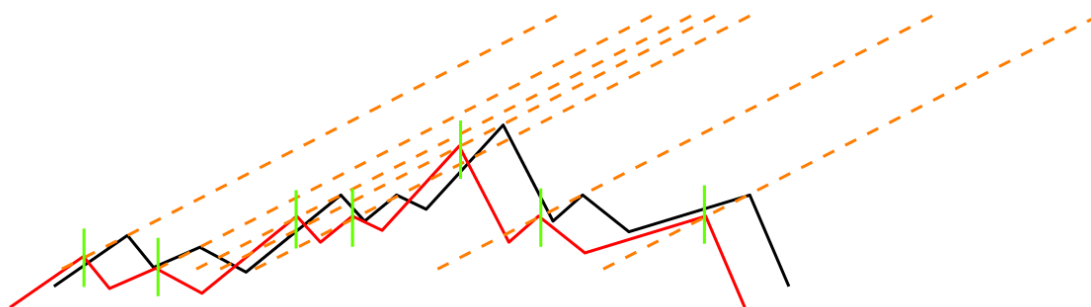
4.1 Výpočet dat zastínění terénu

Pro vizualizaci a zpřesnění výpočtů slunečního záření se používají data stínů terénu, která byla vygenerována z dat nadmořských výšek ASTER GDEM.

Samotný výpočet stínů (Obrázek 10) probíhal tak, že jeden terén byl podsouván pod druhý, a to v opačném směru než azimut Slunce, a pod úhlem slunečních paprsků (úhel výšky Slunce, na obrázku znázorněno oranžovou barvou). Poté bylo zjišťováno, zda se posunutý terén (na obrázku znázorněn červeně) nachází pod nebo nad pevným terénem (na obrázku znázorněn černou barvou). Dále mohlo ve výpočtu dojít k následujícím situacím:

- Jestliže byl posunutý terén nad pevným terénem, dané místo v pevném terénu bylo zastíněno.
- Naopak jestliže byl posunutý terén pod pevným terénem, k zastínění při daném azimutu a úhlu výšky Slunce nedošlo.

Poté byl terén posouván tak dlouho, dokud docházelo k zastínění terénu (dokud byl posunutý terén nad pevným terénem).



Obrázek 10: Znázornění výpočtu zastínění terénu

Pro tyto výpočty, jak vyplývá z popisu, bylo nutné zjistit, pro které azimuty a úhly výšek Slunce je nutné výpočty provést. Výpočet dat stínů pro jednotlivá místa v České republice byl zamítnut z důvodu velkého rozsahu dat, která by byla vygenerována. Proto byl zvolen výpočet pro geografický střed České republiky, který je 49.74375N 15.338639E. Pro toto umístění byly tedy vygenerovány jednotlivé azimuty a výšky Slunce pro každou

úhlů výšek Slunce. Celková velikost vygenerovaných dat by byla tedy přibližně 94,7 GB. Proto jsem přistoupil ke komprimaci generovaných dat a výsledná velikost se zmenšila na přijatelných 11,3 GB, což představuje 88% úsporu místa na disku. Pro komprimaci byl zvolen, stejně jako u komprimace souborů dat nadmořských výšek, formát GZIP, který je vhodný pro komprimaci jednotlivých souborů. Ke komprimaci bylo přistoupeno také proto, že při animaci stínů je potřeba rychle načítat jednotlivé soubory z disku. Operace načtení souboru z disku a jeho dekomprimace probíhá velmi rychle a je mnohdy rychlejší než samotné načtení nekomprimovaného souboru. Velikost některých souborů se zmenšila z 1,54 MB až na 14 KB. Data byla generována na počítači Intel® Pentium® D 3 GHz, 2GB RAM a generování trvalo přibližně 12 dní. Jednotlivé soubory jsou seskupeny do archivů ve formátu ZIP bez použití komprese, podle zeměpisné šířky a poté podle zeměpisné délky. Celkem je tak k dispozici 45 archivů ve formátu ZIP.

4.2 Výpočet rozmístění FVK

Způsob výpočtu rozmístění FVK byl zvolen tak, aby bylo možno jednoduše použít stávající výpočty pro výplň objektů do zadané plochy (jako například u vrstvy účinnost nebo zastínění terénu). Byl tedy použit stejný způsob maskování mřížky do zadané plochy, který v základu spočívá v nalezení minimální a maximální zeměpisné výšky a šířky. Po nalezení těchto hranic se daná vzniklá mřížka vyplní objekty a dále se testuje, zda daný objekt z mřížky náleží i do zadané plochy. Pokud ne, je z mřížky vypuštěn. Následovně se objekty z mřížky vykreslují do mapy.

U výpočtu rozmístění FVK je ale situace výpočtu trochu složitější. Bylo třeba zjistit, jak do stávajících výpočtu zakomponovat výpočty pro objekty, které mohou být různě natočené. Zvolil jsem postup, kdy se plocha zadaná uživatelem otočí podle svého středu, a to v opačném úhlu, než je požadované natočení objektu. Další výpočet se provádí shodně jako popsané maskování objektů do mřížky, jen s tím rozdílem, že je celá mřížka posouvána o \pm šířku a délku objektu a jednotlivé řady v mřížce o \pm délku objektu tak, aby se našel maximální počet zadaných objektů, v tomto případě FVK, v ploše zadané uživatelem. Pokud se při zjišťování potvrdí, že daný objekt z mřížky náleží i do zadané plochy, je pak patřičně natočen a uložen do výsledné mřížky, z které jsou nakonec objekty vykreslovány do mapy.

Pro správný výpočet bylo taktéž nutné správně převést rozměry konstrukce FVP na zeměpisné souřadnice. Nejdříve však bylo potřeba zjistit rozměry konstrukce FVP, jenž se promítnou na rovný povrch a poté mohlo být přistoupeno k přepočtu jednotlivých rozměrů konstrukce FVP na zeměpisné souřadnice. Rozměry zeměpisné šířky a délky objektů se totiž mění v závislosti cílové zeměpisné šířky a délky.

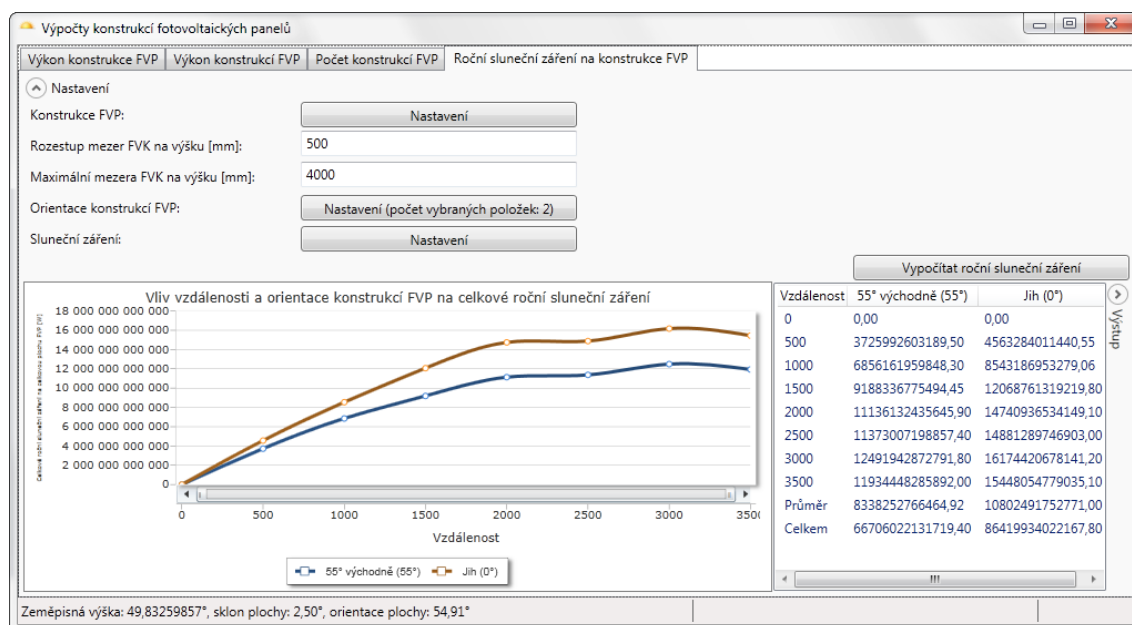
Pro natáčení jednotlivých bodů plochy v zeměpisných souřadnicích bylo vyzkoušeno několik algoritmů, ale pouze jeden se ukázal jako správný, a to nakonec vlastní. Vlastní algoritmus spočívá v tom, že se vypočítá vzdálenost a úhel mezi středovým bodem a otáčeným bodem. Tyto hodnoty jsou dále předány do algoritmu, který z počátečního bodu (v tomto případě středového bodu), vzdálenosti a úhlu (ke kterému je v tomto případě přičten úhel otočení) vypočítá cílový bod. Tento algoritmus podává nejlepší výsledky a odpovídá správnému chování otáčených bodů, protože při vykreslování otočených ob-

jektů do mapy nedochází k žádné deformaci vykreslovaných objektů, ke které při použití jiných algoritmů docházelo.

4.3 Výpočet optimální vzdálenosti a orientace konstrukcí FVP

Aplikace umožňuje vypočítat optimální vzdálenost a orientaci konstrukcí FVP na základě zadaných ploch, nastavení konstrukce FVP a nastavení výpočtů slunečního záření. Samotný výpočet probíhá tak, že se nalezne optimální rozmístění FVK 4.2 pro zadané vzdálenosti a orientace konstrukcí FVP. Následovně se pro nalezená rozmístění konstrukcí FVP provede výpočet ročního slunečního záření s ohledem na stínění konstrukcí FVP. Optimální vzdálenost a orientace je pak taková, pro kterou je roční sluneční záření maximální.

Obrázek 12 ilustruje výsledek výpočtu optimální vzdálenosti a orientace konstrukcí FVP pro zadanou plochu poté, co byla uživateli nabídnuta změna těchto hodnot na nově zjištěné, optimální hodnoty.




Obrázek 12: Příklad výpočtu ročního slunečního záření v desktopové aplikaci, jehož výstupem je optimální vzdálenost a orientace FVK

4.4 Výpočet vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu


Základním údajem pro měření vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu je uživatelem zadaná výška umístění mobilního telefonu a data ze senzorů.

Samotné měření vzdálenosti objektu v mobilní aplikaci má několik fází:

1. Mobilní telefon získává data ze senzorů GPS, akcelerometru a kompasu.

2. Na základě získaných dat aplikace vypočítává přibližnou vzdálenost objektu.
3. Poté, co uživatel klepne na ikonu Vzdálenost  v aplikaci, se provede odeslání dat senzorů do webové služby, která vrátí nejpravděpodobnější vzdálenost objektu jako výsledek volání.

Po měření vzdálenosti při zaznamenávání překážky plochy nastává měření výšky objektu:

1. Mobilní telefon získává data ze senzorů GPS, akcelerometru a kompasu.
2. Na základě získaných dat aplikace vypočítává přibližnou výšku objektu a zobrazuje odchylky dat senzorů vůči datům ze senzoru při měření vzdálenosti objektů.
3. Posléze, když uživatel klepne na ikonu Výška  v aplikaci, se provede odeslání dat senzorů a vzdálenosti objektu do webové služby, která jako výsledek volání vrátí nejpravděpodobnější výšku objektu.

4.4.1 Výpočet vzdálenosti

Při výpočtu vzdálenosti objektu mobilním telefonem nejsou brány v úvahu nadmořské výšky, proto je vypočítaná vzdálenost objektu pouze přibližná. Výpočet nejpravděpodobnější vzdálenosti objektu s ohledem k nadmořské výšce se provádí ve webové službě, která provádí následující kroky tak dlouho, dokud se cílový bod nenachází pod terénem:

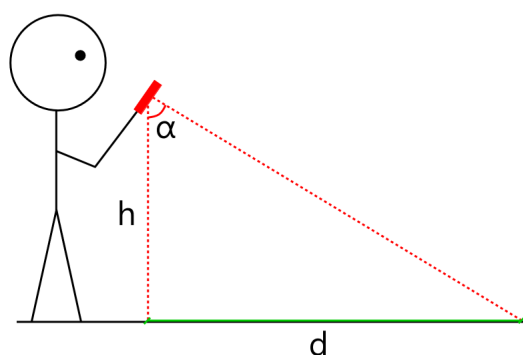
1. přičítání malé hodnoty k vzdálenosti (na základě sklonu mobilního telefonu),
2. zjištění cílového bodu (na základě vzdálenosti a orientace),
3. zjištění nadmořské výšky cílového bodu.

Zjednodušenou verzi výpočtu vzdálenosti objektu ilustruje následující Obrázek 13, kde α je známý úhel sklonu mobilního telefonu, h je známá výška umístění mobilního telefonu a d je vzdálenost objektu. Samotný výpočet se, jak je patrné z obrázku, provádí na základě goniometrických funkcí, znalosti úhlu a přilehlé strany, spolu s různými podmínkami pro sklon mobilního telefonu.

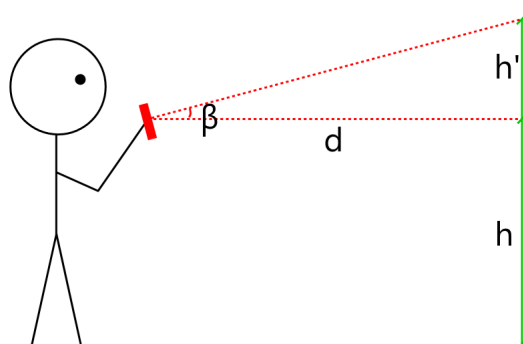
4.4.2 Výpočet výšky

Při výpočtu výšky objektu mobilním telefonem nejsou rovněž, stejně jako u výpočtu vzdálenosti mobilním telefonem, brány v úvahu nadmořské výšky, proto je vypočítaná vzdálenost objektu taky pouze přibližná. Pro změření výšky nejpravděpodobnější výšky objektu se používá rovněž webová služba, která se zabývá nadmořskou výškou. Webová služba na základě poskytnutých dat provede zjištění počáteční a cílové nadmořské výšky, a dále na základě sklonu mobilního telefonu provede určení výšky měřeného objektu.

Obrázek 14 znázorňuje zjednodušenou verzi výpočtu výšky objektu, kde β je známý úhel sklonu mobilního telefonu, d je známá vzdálenost objektu z výpočtu vzdálenosti



Obrázek 13: Schematické vyobrazení výpočtu vzdálenosti objektu



Obrázek 14: Zjednodušená ilustrace výpočtu výšky objektu

objektu a h' je část výšky objektu. Tento výpočet se provádí rovněž na základě goniometrických funkcí, znalosti úhlu a přilehlé strany a sklonu mobilního telefonu.

5 Vlastní aplikace

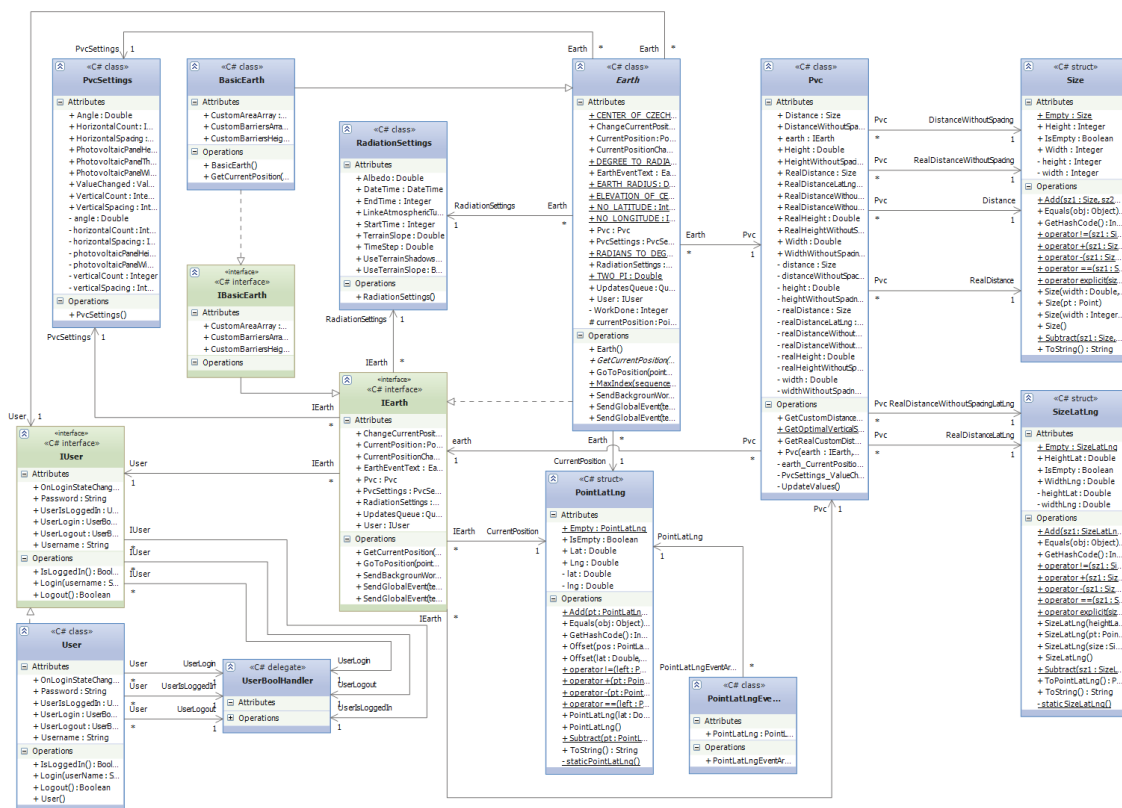
Tato kapitola se zabývá popisem funkcí vlastních aplikací vyvíjených v rámci diplomové práce a popisem propojení aplikací přes vlastní webové služby.

Celkem byly vyvíjeny tři aplikace (desktopová aplikace, webová aplikace a mobilní aplikace), soubor podpůrných knihoven DLL a čtyři webové služby. Webová aplikace poskytuje vzhledem k desktopové aplikaci stejnou funkčnost, pouze není podporována práce s 3D modely. Mobilní aplikace slouží pro zaměřování ploch terénu ve venkovním prostředí s tím, že se zaznamenanými plochami z mobilní aplikace jde pracovat buď v desktopové, nebo webové aplikaci.

Podpůrná knihovna DLL poskytující základní rozhraní výpočtů, která byla vyvíjena již v rámci bakalářské práce, byla celkově optimalizována:

- Mnohé stávající výpočetně náročné výpočty byly přepracovány a paralelizovány tak, aby bylo možné lépe využít vícejádrové procesory. Například výpočty slunečního záření se zrychlily na počítači s dvoujádrovým procesorem o více jak 65%. Pouze použitím knihovny Task Parallel Library [15] se výpočty zrychlily podle počtu dostupných výpočetních jader procesoru (například na již zmíněném počítači s dvoujádrovým procesorem o 50%).
- Bylo zavedeno „chytré“ načítání souborů dat nadmořských výšek a zastínění terénu, které spočívá v tom, že jsou do paměti načítány pouze ty soubory dat, které aplikace aktuálně potřebuje a pokud počet načtených souborů dat překročí určitou mez, jsou automaticky postupně z paměti uvolňovány. Tato funkčnost je umožněna také tím, že jsou jednotlivé soubory dat tvořené popisným souborem (soubor INF), který obsahuje základní informace o daném datovém souboru a souborem dat (soubor RAW), který obsahuje samotná data. Při spuštění aplikace se do paměti načtou pouze informace z popisných souborů, aby aplikace věděla, které datové soubory jsou k dispozici a s kterými je tedy možné pracovat.
- Dále byla knihovna DLL rozdělena na dvě části:
 1. Na základní část (Obrázek 15) poskytující základní rozhraní například pro plochy, uživatele, nastavení fotovoltické konstrukce a výpočtů slunečního záření. Tato část používá speciální doplněk sady Visual Studio [16], který umožňuje jednoduché vytvoření knihovny, kterou lze snadno používat na různých platformách jako například systém Windows, Silverlight, Windows Phone a Xbox 360.
 2. Část, která poskytuje zbývající funkčnost, například výpočty slunečního záření a výpočty nad zadanými plochami.

Uživatelské prostředí aplikací bylo taktéž zcela změněno a sjednoceno s ohledem na počet ovládacích prvků a uživatelskou přívětivost. Nově je také možné spravovat plochy v databázi webové služby přihlášenými uživateli. Pro základní seznámení uživatele s aplikacemi se nachází ve webové aplikaci stručná sdružená nápověda dostupná též



Obrázek 15: Základní část třídního diagramu základní knihovny DLL

z desktopové aplikace po stisknutí klávesy F1. Zároveň je rovněž po registraci nového uživatele zobrazeno ve webové aplikaci dialogové okno, které uživateli nabízí vytvoření vzorových dat ploch.

5.1 Desktopová aplikace

Aplikace je vyvíjena na platformě .NET verze 4.0 a s použitím jazyka C# [17] a na rozdíl od bakalářské práce s použitím technologie WPF [18] pro bohaté uživatelské prostředí. Technologie WPF umožňuje mimo jiné hardwarovou akceleraci pomocí grafické karty, vektorovou a 3D grafiku, která je použita v 3D modelech.

Pro samotné vykreslování map, se stejně jako v desktopové aplikaci vyvíjené v rámci bakalářské práce, používá knihovna GMap.NET [19] a její ovládací prvek map pro model Windows Forms. Tato knihovna sice nabízí i ovládací prvek map pro technologii WPF, ale z důvodu jistého omezení (např. nepodporuje mapové vrstvy) a také z důvodu zjištěného menšího výkonu, byl použit opět ovládací prvek map pro model Windows Forms.

Dále aplikace používá knihovny Visifire [20] pro vykreslování grafů, knihovnu Helix 3D Toolkit [21] pro možnost ovládání 3D modelů v aplikaci pomocí myši a knihovnu

WPF Extended Toolkit [22] pro ovládací prvky uživatelského prostředí, které se standardně v návrhářci sady Visual Studio nevyskytují.

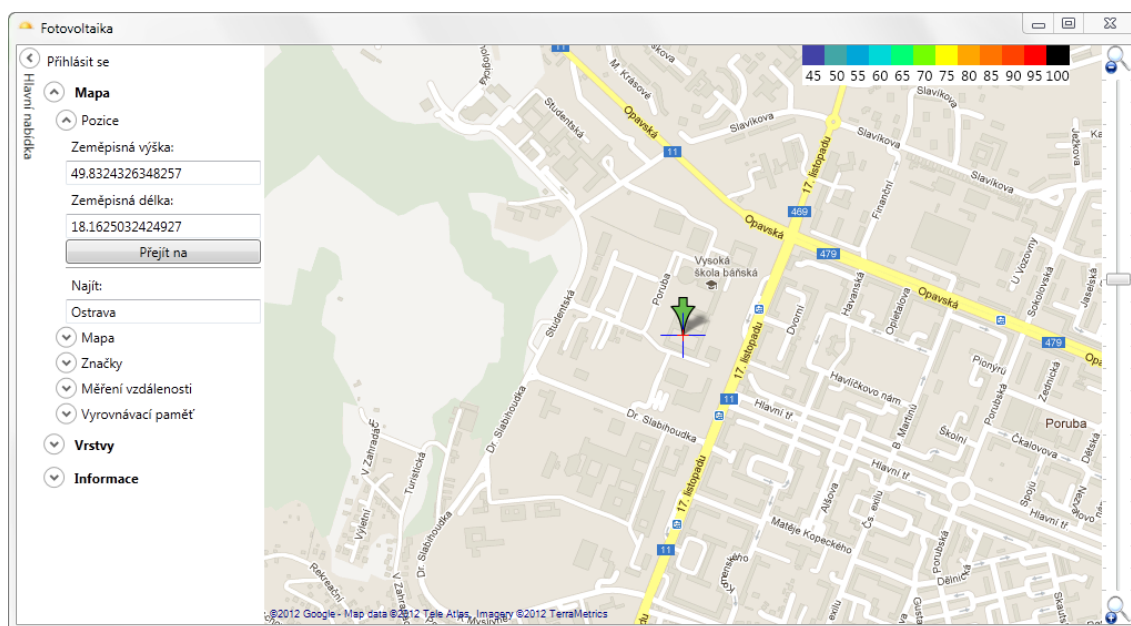
Aplikace používá ve velké míře datové vazby (data binding), které slouží pro propojení prvků uživatelského rozhraní s vlastnostmi v kódu.

5.1.1 Spuštění aplikace

Aplikace se nemusí instalovat, stačí pouze zkopírovat soubory z archivu do složky, ze které bude aplikace spouštěna. Zároveň je nutné do stejné složky zkopírovat požadované složky souborů dat nadmořských výšek a zastínění terénu (složky „SRTM“, „ASTER GDEM“ a „ASTER GDEM v2“). Archivy ZIP obsahující data zastínění terénu se rozbalují přímo do složky *Shadow* v dané složce dat nadmořských výšek (například při rozbalení archivu *N49E018.zip* (který je vhodný například pro zeměpisné souřadnice 49.8N 18.5E) vznikne struktura složek „ASTER GDEM v2\Shadow\N49E018\“). Pro samotné spuštění aplikace je nutné rozhraní .NET Framework verze 4 nebo vyšší. Podporované platformy a operační systémy jsou všechny desktopové a serverové verze od systému Windows XP.

5.1.2 Hlavní okno aplikace

Po spuštění aplikace se zobrazí hlavní okno aplikace (Obrázek 16), které lze rozdělit na *Hlavní nabídku* nacházející se na levé straně a mapu nacházející se na pravé straně.



Obrázek 16: Hlavní okno desktopové aplikace

Hlavní nabídku lze sbalit a poté je mapa zobrazena ve většině okna aplikace, jedná se o optimalizaci zobrazení především pro monitory s nízkým rozlišením. *Hlavní nabídku* lze rozdělit na tři části, na nabídky *Mapa*, *Vrstvy* a *Informace*. Při rozbalování jednotlivých nabídek dochází k automatickému sbalování ostatních nabídek tak, aby uživatel stále věděl, kde se nachází a měl zobrazenou celou část dané nabídky.

Pod nabídkou se zobrazují aktuální informace o vykonávání jednotlivých akcí zobrazením notificačních zpráv. Tyto zprávy slouží jak pro informování o úspěšně provedených akcích (zelený text), tak i o neúspěšně provedených akcích (červený text) a jejich možném řešení. V těchto informačních zprávách se zobrazují například zprávy o stavu uložení ploch do databáze. Umístění notificačních zpráv pod nabídkou není příliš vhodné, protože při skrytí hlavní nabídky se skryjí také notificační zprávy, ale většina zpráv je naštěstí vyvolávána právě z *Hlavní nabídky*. I když není toto umístění praktické, je jediné možné, protože jiné umístění než umístění nad mapou není v hlavním okně aplikace k dispozici. A právě umístění notificačních zpráv nad mapou není proveditelné, protože se jedná o omezení, které vyplývá z hostování ovládacího prvku Windows Forms v rámci aplikace technologie WPF [23]. Dané omezení spočívá v tom, že všechny vrstvy vykreslované nad daným ovládacím prvkem musí být součástí stejné vykreslovací úrovně jako daný ovládací prvek. Proto nelze nad ovládacím prvkem modelu Windows Forms (v tomto případě mapa) vykreslit jiný ovládací prvek, než ovládací prvek modelu Windows Forms.

V horní části *Hlavní nabídky* se nachází informace o stavu přihlášení uživatele. Pokud není uživatel přihlášen, tak se po kliknutí na *Přihlásit se* zobrazí dialog, který slouží pro samotné přihlášení a obsahuje i odkaz pro případnou registraci uživatele. Po úspěšném přihlášení se automaticky načtou uživatelem uložené plochy z databáze webové služby a dále je zpřístupněna možnost ukládání a aktualizování ploch v databázi webové služby.

Hlavní nabídku aplikace lze, jak již bylo zmíněno, rozdělit na tři nabídky:

1. *Mapa*,
2. *Vrstvy*,
3. *Informace*.

Následující kapitoly se zabývají možnostmi, které tyto nabídky a aplikace celkově poskytují.

5.1.2.1 Nabídka Mapa Nabídka *Mapa* slouží například k ovládání zobrazení mapy, pozice a správě značek v mapě.

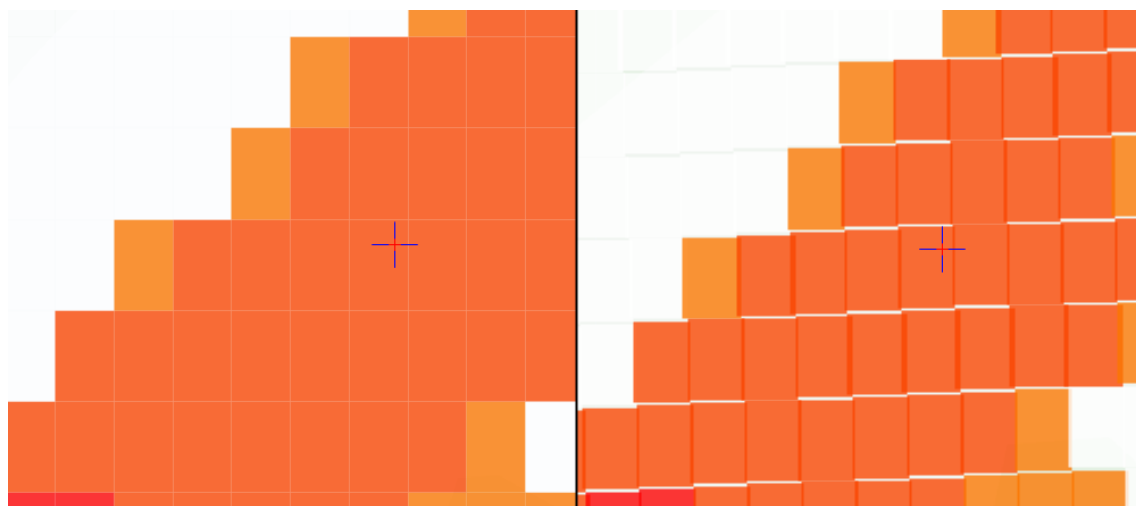
5.1.2.1.1 Vyhledání požadované pozice Aplikace podporuje tři možnosti vyhledání pozice pomocí podnabídky *Pozice*:

1. zadáním *Zeměpisné šířky* a *Zeměpisné výšky* a stisknutím tlačítka *Přejít na*,

2. zadáním hledaného zeměpisného názvu do políčka *Najít* a stisknutím klávesy *Enter*,
3. vyhledáním pozice pomocí myši v mapě.

5.1.2.1.2 Nastavení mapy Podnabídka *Mapa* nabízí stejné možnosti jako stejnojmenný panel *Mapa* v desktopové aplikaci z mé bakalářské práce. Nová je možnost *Znovu načtení mapy*, jejíž funkce je vhodná při problémech se zobrazením podkladů mapy.

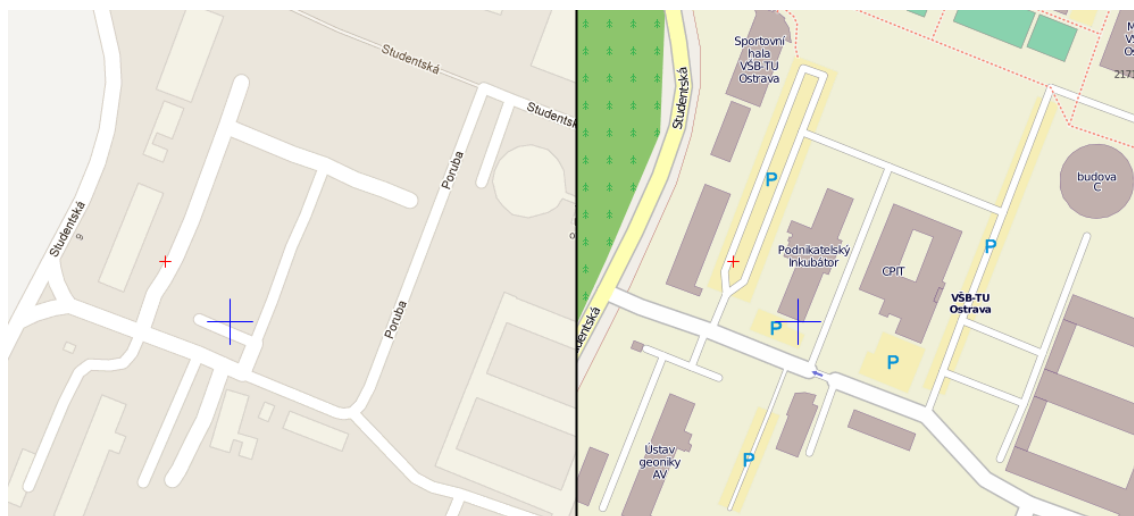
Díky neustále vyvíjené knihovně GMap.NET je podporováno již téměř 60 poskytovatelů map. Bohužel díky nestandardní projekci map nelze použít kvalitní české mapy poskytované společností Seznam, protože převod zeměpisných souřadnic na souřadnice pixelů u malých objektů mapy není tak přesný, jako u ostatních poskytovatelů map, a dochází k posunutí a deformaci vykreslených objektů do mapy (Obrázek 17). Nejprve jsem považoval tuto chybu ve vykreslování za chybu ve vlastní aplikaci, ale po zjištění, že se chyba u ostatních poskytovatelů map nevyskytuje a po konzultaci této chyby s vývojářem knihovny jsem zjistil, že chyba je v používané nestandardní projekci map od společnosti Seznam a že ji nelze opravit.



Obrázek 17: Ilustrace správného (vlevo) a chybného (vpravo) vykreslování objektů do mapy

Zmiňovaná komponenta podporuje i volně dostupné mapy projektu OpenStreetMap [24], které jsou mnohdy podrobnější a aktuálnější (Obrázek 18) než mapové podklady poskytované společností Google (týká se většiny obcí nad 5000 obyvatel, malé obce naopak mnohokrát pokryty nejsou).

5.1.2.1.3 Správa značek V podnabídce *Správa značek* se nacházejí ostatní ovládací prvky známé z panelu *Mapa* v desktopové aplikaci bakalářské práce a dále umožňuje správu všech značek v mapě, jejich přidávání a mazání. Po stisknutí tlačítka *Přiblížit na*



Obrázek 18: Srovnání mapových podkladů projektu OpenStreetMap a poskytovaných společností Google

střed se provede vycentrování a přiblížení všech značek. Zaškrťovací políčko *Aktuální značka* nastavuje zobrazení značky (zelené) aktuální pozice.

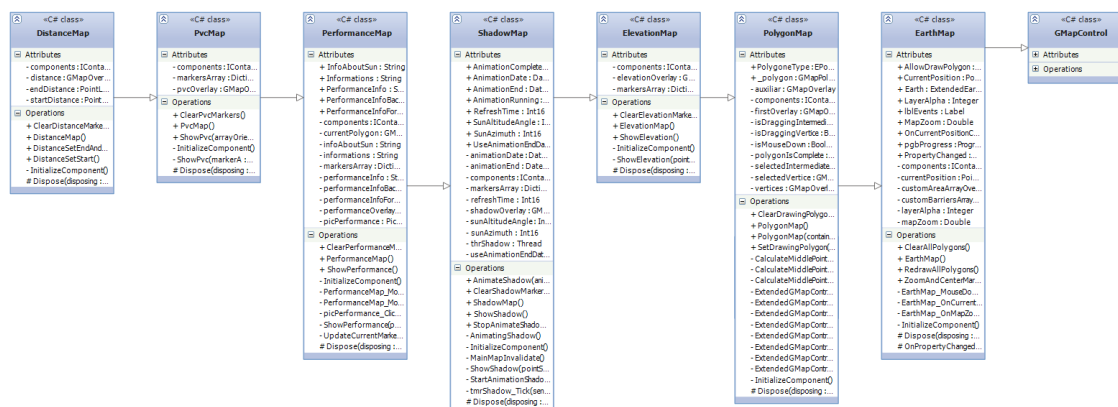
5.1.2.1.4 Měření vzdálenosti v mapě a správa vyrovnávací paměti Měření vzdálenosti v mapě a správa vyrovnávací paměti je umožněna v podnabídkách *Měření vzdálenosti* a *Vyrovnávací paměť*, které nabízejí stejnou funkčnost jako panely *Vzdálenost* a *Vyrovnávací paměť* z desktopové aplikace bakalářské práce.

5.1.2.2 Nabídka Vrstvy Tato nabídka slouží ke správě ploch a jednotlivých vrstev mapy používaných při výpočtech.

Jednotlivé vrstvy mapy byly v aplikaci tvořeny jako samostatné třídy tak, aby byla zajištěna přehlednost kódu, snadná rozšiřitelnost a správa existujících vrstev mapy. Je zde využita dědičnost (Obrázek 19), kdy třída zajišťující propojení mapy s vlastní knihovnou dědí ze základní třídy zobrazující mapu z knihovny GMap.NET. Tu potom dědí třída poskytující zadávání ploch, tuto třídu dále dědí například třída vykreslující nadmořské výšky a nakonec třída poskytující měření vzdáleností v mapě.

V podnabídce *Zadání plochy* se nacházejí tlačítka, která slouží k zaznamenávání a mazání plochy a překážek z mapy, a pro přihlášeného uživatele navíc tlačítka k ukládání a aktualizování ploch v databázi webové služby. Zaznamenanou plochu lze z mapy vždy odstranit dvojitém kliknutím na požadovanou plochu.

Uložené plochy v databázi webové služby může přihlášený uživatel spravovat v podnabídce *Uložené plochy*. Jedním kliknutím na název plochy dojde k načtení dané plochy z databáze webové služby, dvojitém kliknutím na název plochy může být plocha z databáze webové služby smazána. Jednotlivé plochy se zaznamenávají klikáním do



Obrázek 19: Hierarchie tříd vrstev mapy

mapy, k dokončení zaznamenání dojde po kliknutí na první bod zaznamenávané plochy. Všechny plochy musí být zaznamenávány proti směru hodinových ručiček a žádné hrany v ploše se nesmí křížit, jinak při ukládání ploch do databáze webové služby dojde k chybě.

Podnabídku *Základní nastavení* lze použít pro nastavení typu vstupních dat (aplikace podporuje všechny tři druhy vstupních dat, které jsou popsány v kapitole *Vstupní data* 3), průhlednosti vrstev a k vymazání všech vrstev.

Další podnabídky jsou určeny pro jednotlivé vrstvy map. Kliknutím na tlačítko *Zobrazit* se daná vrstva vykreslí do zadané plochy, kliknutím na tlačítko *Vymazat vše* se celá vrstva vymaže.

5.1.2.2.1 Zobrazení zastínění terénu Tato podnabídka poskytuje zobrazení dat zastínění terénu do mapy, které byly vygenerovány v rámci této diplomové práce (viz *Výpočet dat zastínění terénu* 4.1). Zastíněný terén je v této vrstvě zobrazován černou barvou a terén osvětlený Sluncem barvou bílou. Nastavení zobrazení je možné dvěma způsoby:

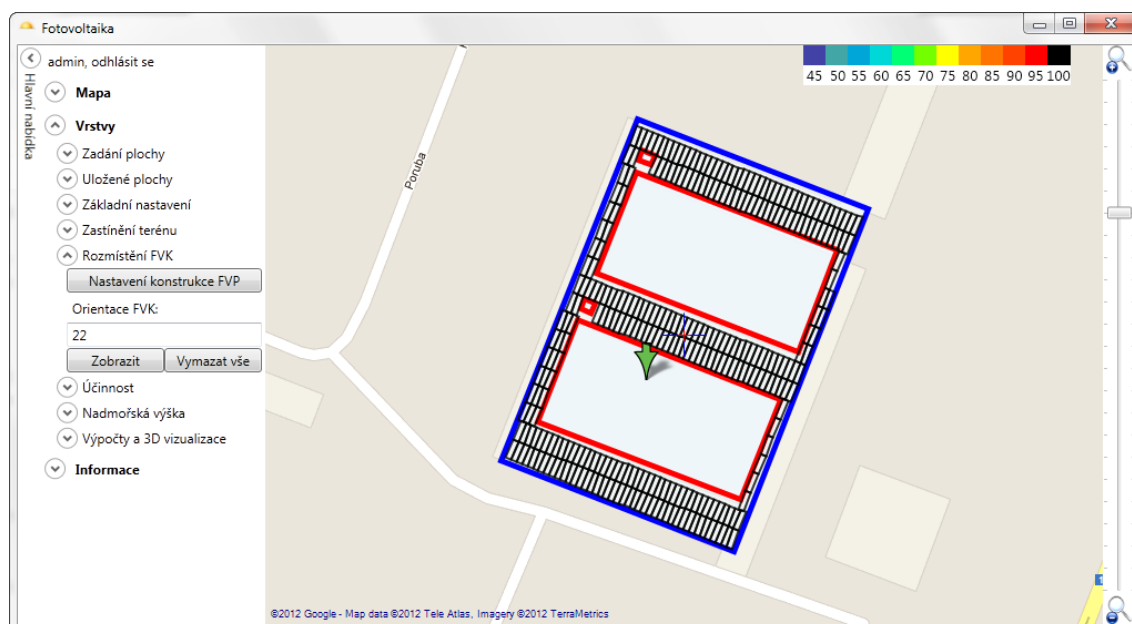
1. zadáním požadované hodnoty *Úhlu výšky Slunce* a *Azimutu Slunce*,
2. zadáním *Data a času* (při zadávání data a času se automaticky přizpůsobují hodnoty úhlu výšky a azimutu Slunce).

Zobrazené objekty ve vrstvě zastínění terénu je možné v mapě i animovat. Je důležité mít zobrazené nějaké objekty v této vrstvě, jinak se bude animace provádět na prázdné vrstvě. Animace zastínění terénu může být provedena buď jako neomezená, nebo v zadaném intervalu (zaškrtnutím zaškrťovacího políčka *Animace do* a zvolením požadovaného konce animace). Stisknutím tlačítka *Animovat* se bude vrstva zastínění terénu automaticky překreslovat na zobrazení další hodiny, rychlostí zadanou v textovém poli *Rychlost animace*. Nebo je taktéž možno provést tzv. bezpečnou animaci (po kliknutí na tlačítko

Animovat bezpečně), kdy se vrstva *Zastínění terénu* začne znovu překreslovat až po dokončení předchozího překreslení. Tato eventualita je vhodná zejména pro méně výkonné počítače, kdy může docházet vlivem pomalého načítání dat zastínění terénu k zobrazování špatných informací (barev) zastínění terénu. Ukončení animace lze provést stisknutím příslušného tlačítka *Zastavit animaci*.

Pro data zastínění terénu je stejně jako pro data nadmořských výšek používáno již popsané „chytré“ načítání souborů.

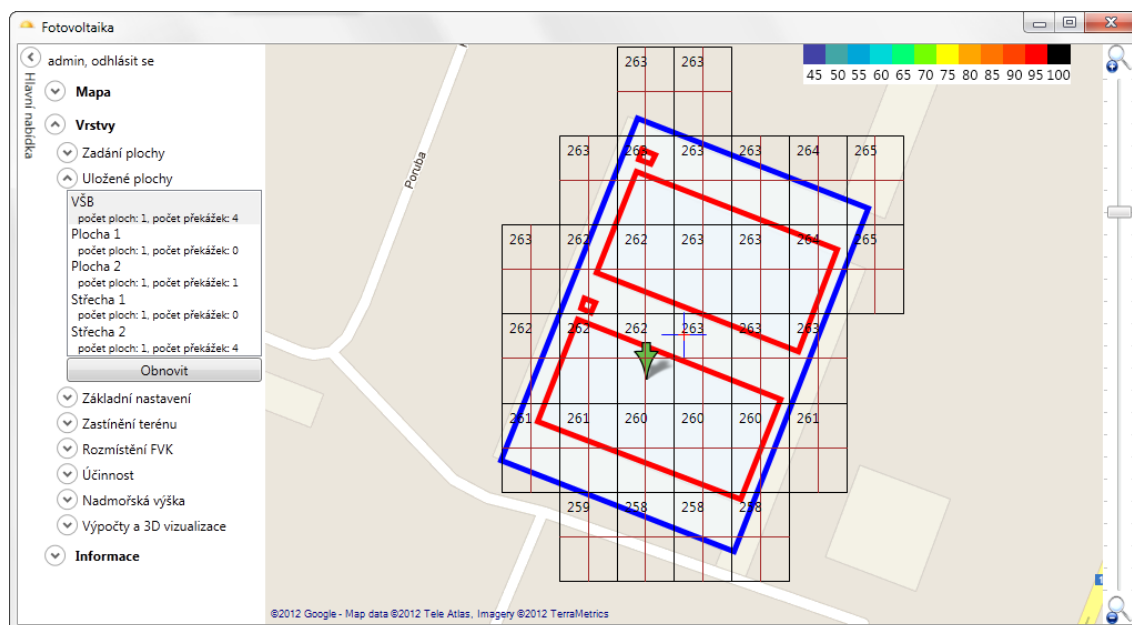
5.1.2.2.2 Rozmístění FVK Vrstva *Rozmístění FVK* slouží k zobrazení rozmístění FVK do mapy (Obrázek 20) podle zadaného *Nastavení konstrukce FVP* (základní popis zobrazeného okna se nachází dále v textu *Nastavení konstrukce FVP* 5.1.4) a *Orientace FVK*. Po výpočtu a vykreslení FVK se v notificační zprávě zobrazí informace o počtu FVK. Popis samotného výpočtu rozmístění FVK se nachází v kapitole *Výpočet rozmístění FVK* 4.2.



Obrázek 20: Hlavní okno desktopové aplikace se zobrazenou vrstvou rozmístění FVK

5.1.2.2.3 Informace o účinnosti Barevné rozlišení ploch ve vrstvě *Účinnost* odpovídá barevné stupnici, která je umístěna v pravém horním rohu mapy. Stručně se jedná o vliv orientace a sklonu fotovoltaických panelů na jejich výkon (podrobnosti o této stupnici jsou znázorněny v dialogovém okně zobrazeném po kliknutí na barevnou stupnici). Bílou barvu mají na mapě plochy, které jsou podle výpočtu orientovány na sever. Podrobnější vysvětlení této závislosti se nachází v textu mé bakalářské práce. Je samozřejmě zachována možnost rychlého zobrazení účinnosti do mapy pomocí držení klávesy Shift a tažení myši.

5.1.2.2.4 Zobrazení údajů o nadmořské výšce Aplikace podporuje také vykreslení údajů o nadmořské výšce (Obrázek 21), a to pomocí vrstvy *Nadmořská výška*. Vrstva je vykreslována až od určitého přiblížení mapy tak, aby se jednotlivé vykreslené informace nepřekrývaly a uživatel byl schopen zobrazené údaje vždy přečíst.



Obrázek 21: Hlavní okno desktopové aplikace s vykreslenou vrstvou nadmořská výška a se zobrazeným seznamem uložených ploch v hlavní nabídce

5.1.2.2.5 Výpočty a 3D vizualizace Tlačítka v této podnabídce otevírají okna výpočtů nebo 3D vizualizací poskytovaných aplikací. Funkčnost jednotlivých oken je popsána v kapitolách níže.

5.1.2.3 Nabídka Informace V jednotlivých textových polích v nabídce *Informace* se zobrazují například informace o aktuální pozici, nadmořské výšce, orientaci, sklonu a o Slunci pro aktuální polohu a čas.

5.1.3 Nastavení výpočtu slunečního záření

Dialogové okno *Nastavení výpočtu slunečního záření* (Obrázek 22), přístupné z několika částí v aplikaci, umožňuje nastavit parametry výpočtu slunečního záření.

Dialog vychází z dialogového okna *Výpočty* z desktopové aplikace bakalářské práce, ale byl také zjednodušen tak, aby bylo zadávání samotných údajů pro uživatele snazší. Zároveň bylo přidáno zaškrtnací políčko *Používat data zastínění terénu*, které povoluje nebo zakazuje používání dat zastínění terénu při výpočtech slunečního záření. Zadané

Nastavení výpočtů slunečního záření

Sklon terénu [°]: ☒ Použít 35,00

Používat data zastínění terénu: ☐ Použít

Odrazivost [%]: 20

Linkeho činitel zákalu atmosféry: 4 - Město

Datum a čas [h:]: 01. března 2012 8:00

Rozsah času [h]: 4 - 22

Krok času: 1,00

Storno OK

Obrázek 22: Dialogové okno desktopové aplikace pro nastavení výpočtu slunečního záření

informace jsou nyní také dostupné po zavření okna *Výpočtů slunečního záření*, což je přínosem pro uživatele, který již nemusí při každém otevření okna *Výpočtů slunečního záření* zadávat požadované parametry znovu.

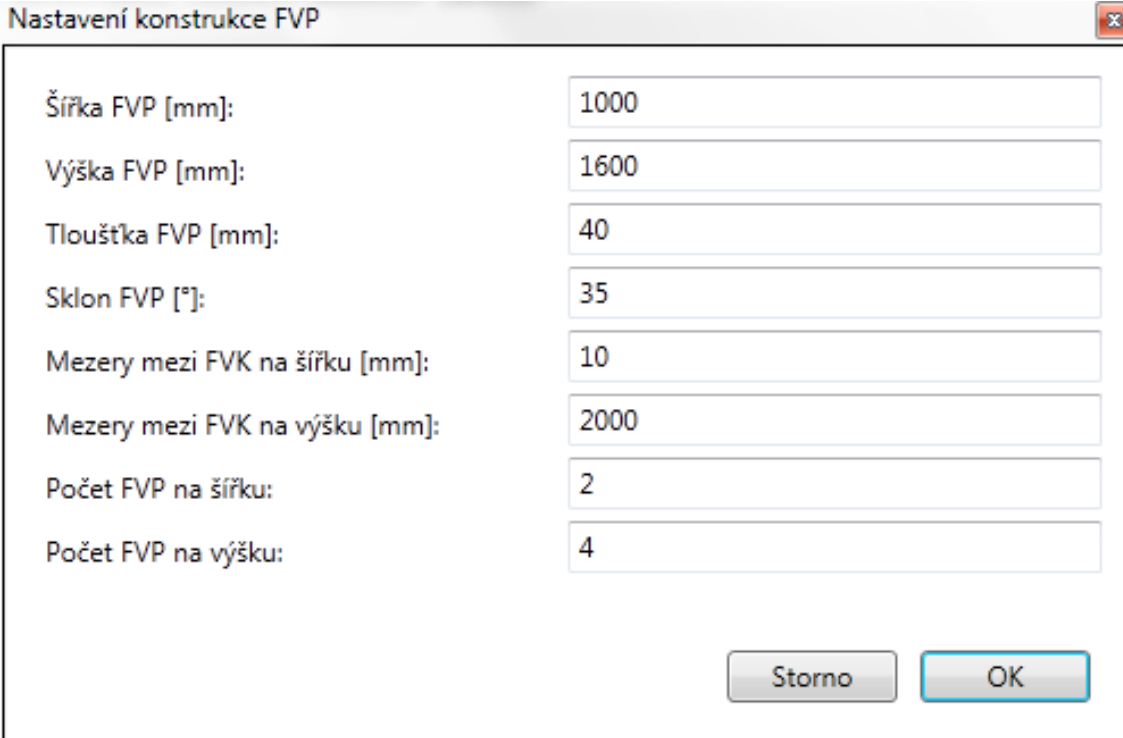
5.1.4 Nastavení konstrukce FVP

Dialogové okno *Nastavení konstrukce FVP* (Obrázek 23), taktéž přístupné z několika částí v aplikaci, slouží pro nastavení parametrů konstrukce FVP.

Je použito zjednodušené schéma konstrukce FVP, které stačí pro základní výpočty používané v aplikaci, jako je nastavení šířky, výšky, tloušťky a sklonu (vzhledem k rovině) FVP, ze kterých je složena jedna konstrukce FVP. Dále pak mezeru mezi FVK na šířku a na výšku, a počet FVP použitých na celkovou šířku a výšku konstrukce FVP.

5.1.5 Výpočty slunečního záření

V okně *Výpočty slunečního záření* (Obrázek 24) je umožněno provést výpočet slunečního záření pro bod (výsledek je pro $1m^2$) pro plochu (výsledkem je průměr na $1m^2$, pokud je plocha zadána v mapě) nebo nově, na rozdíl od výpočtů poskytovaných v bakalářské práci, pro FVP strany střechy (výsledkem je průměr na $1m^2$ plochy FVP, výpočet je dostupný pouze z okna *3D vizualizace budov*). Jakékoliv výpočty prováděné na pozadí lze zrušit stisknutím klávesy Esc.



Parametr	Hodnota
Šířka FVP [mm]:	1000
Výška FVP [mm]:	1600
Tloušťka FVP [mm]:	40
Sklon FVP [°]:	35
Mezery mezi FVK na šířku [mm]:	10
Mezery mezi FVK na výšku [mm]:	2000
Počet FVP na šířku:	2
Počet FVP na výšku:	4

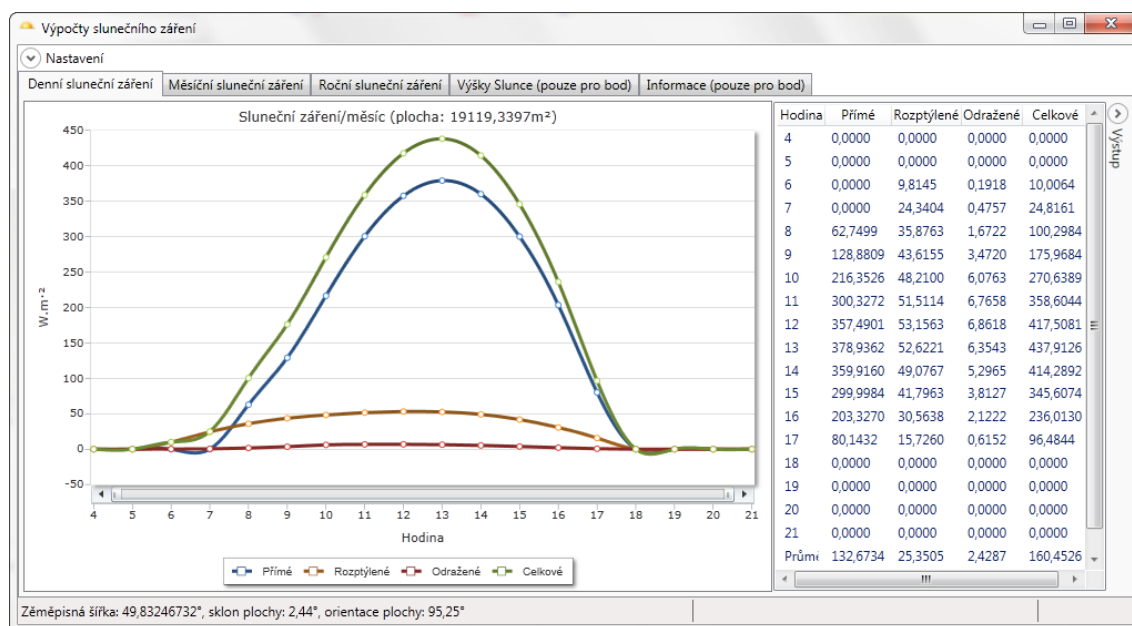
Storno OK

Obrázek 23: Dialogové okno desktopové aplikace, které slouží pro nastavení konstrukce FVP

Poskytované výpočty a funkčnost je stejná jako v bakalářské práci, ale okno Výpočtů slunečního záření bylo celkově zjednodušeno, nyní například umožňuje skrývání *Nastavení* a *Výstupu* – pro zdůraznění výsledků výpočtů nad nastavením. Dále bylo nastavení slunečního záření přesunuto do samostatného dialogu *Nastavení výpočtů slunečního záření* (Obrázek 22), který je dostupný po kliknutí na tlačítko *Nastavení* u položky *Sluneční záření*. Ve stavovém řádku jsou nově také k dispozici informace o zadaném bodu, ploše nebo ploše FVP strany střechy, podle toho jaký výpočet uživatel provádí. Navíc je také ve stavovém řádku zobrazována informace o průběhu a celkovém průběh výpočtu. Zároveň není okno *Výpočty slunečního záření* nadále modální, uživatel tak není omezován při práci s mapou – změny v zadání pozice nebo ploch jsou automaticky propagovány do okna *Výpočtů slunečního záření*.

5.1.6 Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů

Okno *Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů* umožňuje provést výpočty nad konstrukcemi FVP, jako například výkonu, jejich počtu v zadané ploše a v neposlední řadě ročního slunečního záření. Stavový řádek tohoto okna poskytuje stejné informace jako stavový řádek v okně *Výpočty slunečního záření*. Výpočet počtu a ročního slunečního záření na



Obrázek 24: Příklad výstupu výpočtu denního slunečního záření pro zadanou plochu v dialogovém okně Výpočty slunečního záření desktopové aplikace

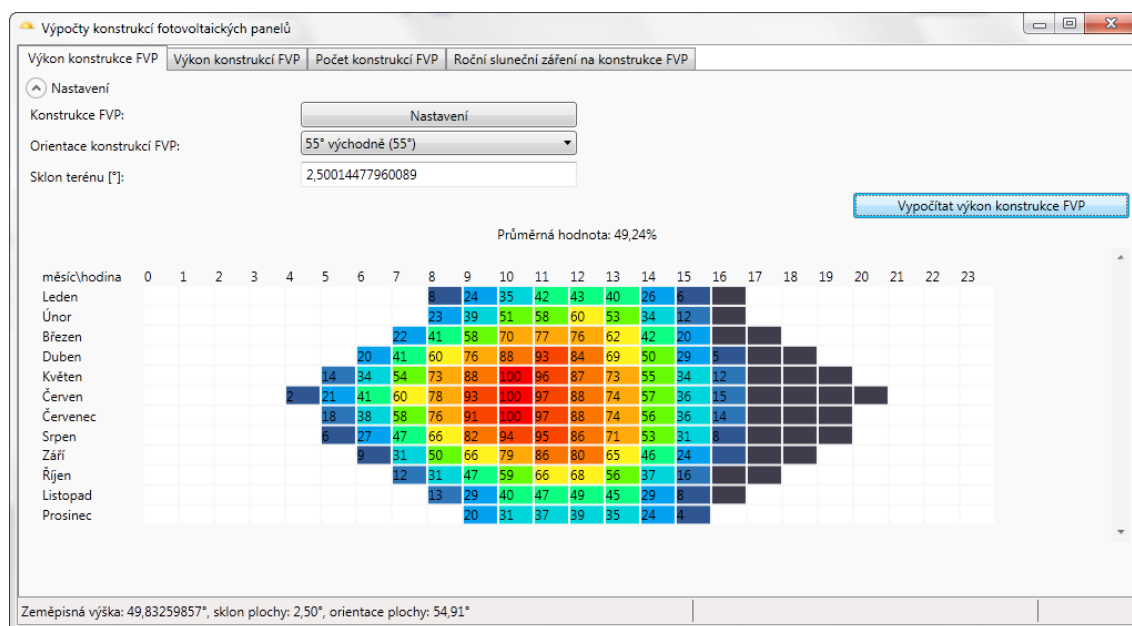
konstrukce FVP je umožněn pouze při zadané ploše v mapě. Jakékoliv prováděné výpočty lze taktéž zrušit stisknutím klávesy Esc.

5.1.6.1 Výpočet výkonu konstrukce FVP Výpočty na kartě *Výkon konstrukce FVP* (Obrázek 25) slouží k zobrazení údajů výkonu FVK na základě zadaného nastavení a orientace konstrukce FVP, a sklonu terénu. Výstupem zobrazeným po kliknutí na tlačítko *Vypočítat výkon konstrukce FVP* je mřížka zobrazující výkon FVK pro jednotlivé hodiny měsíců v roce. Zobrazené údaje odpovídají stínění samotných FVK, zadané orientací FVK a sklonu terénu.

5.1.6.2 Výpočet výkonu konstrukcí FVP Karta *Výkon konstrukcí FVP* je určena výpočtu vlivu vzdálenosti konstrukcí FVP na celkový výkon. Pro výpočet lze nastavit několik parametrů, které jsou popsány v Tabulce 4.

5.1.6.3 Zjištění počtu konstrukcí FVP pro zadanou plochu Na kartě *Počet konstrukcí FVP* lze vypočítat vliv vzdálenosti konstrukcí FVP na celkový počet konstrukcí FVP umístitelných do zadané plochy. Nastavení parametrů je stejné jako na kartě *Výkon konstrukcí FVP*.

5.1.6.4 Výpočet ročního slunečního záření na konstrukce FVP pro zadanou plochu Poslední karta tohoto dialogu slouží k výpočtu *Ročního slunečního záření na konstrukce FVP*.



Obrázek 25: Okno Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů se zobrazeným výsledkem výpočtu výkonu konstrukce FVP

Parametr	Popis
Konstrukce FVP	Po kliknutí na tlačítko <i>Nastavení</i> se zobrazí dialogové okno <i>Nastavení konstrukce FVP</i> .
Rozestup mezer FVK na výšku [mm]	Interval rozestupů, pro který se bude provádět výpočet (například, když bude zadáno 500mm, bude se výpočet provádět pro rozestupy FVK 0, 500, 1000...).
Maximální mezera FVK na výšku [mm]	Údaj, který slouží jako horní hranice pro <i>Rozestupy mezer FVK na výšku</i> .
Orientace konstrukcí FVP	Orientace FVK, pro které se bude provádět výpočet. Po kliknutí na tlačítko <i>Nastavení</i> se zobrazí dialogové okno <i>Nastavení orientací konstrukce FVP</i> ve kterém je možné orientace nastavit.

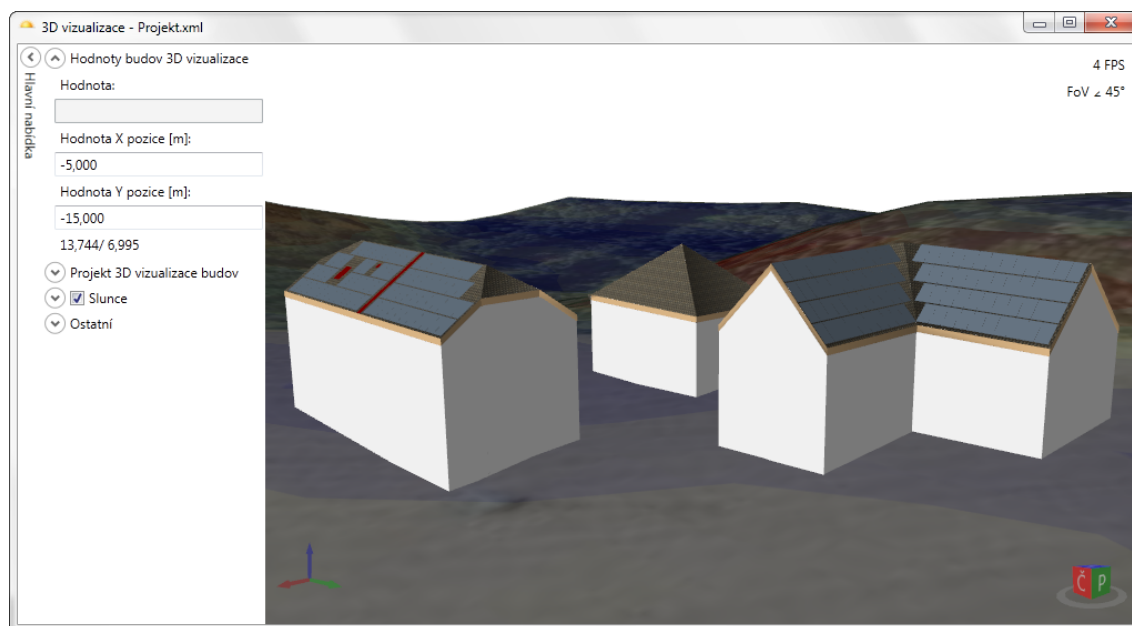
Tabulka 4: Popis parametrů pro výpočet výkonu konstrukcí FVP

strukce FVP. Samotný výpočet je popsán v části *Výpočet optimální vzdálenosti a orientace konstrukcí FVP* 4.3.

Nastavení parametrů je podobné jako v předcházejících kartách, nová je pouze položka umožňující nastavení *Slunečního záření*, která zobrazí zmiňovaný dialog *Nastavení výpočtů slunečního záření*.

5.1.7 3D vizualizace budov

Okno *3D vizualizace budov* umožňuje vizualizovat v 3D prostředí budovy a jejich okolní terén (Obrázek 26) spolu s rozmístěním fotovoltaických panelů na jejich střechy. Pro vizualizaci se používá technologie WPF a pro ovládání 3D vizualizace již zmíněná knihovna DLL Helix 3D Toolkit [21]. Červený kužel ve vizualizaci ukazuje směr, kterým je orientován sever.



Obrázek 26: 3D vizualizace budov

Vizualizace se ovládá pomocí myši, při držení pravého tlačítka a současným posouváním dochází k rotaci vizualizace, dvojitým kliknutím prostředního tlačítka (kolečka) dojde k vycentrování vizualizace. Přibližování a oddalování vizualizace se provádí pomocí kolečka myši nebo pomocí držení klávesy Ctrl a pravého tlačítka myši (ovládání vhodné zejména pro notebooky, které nejsou ovládány myší a tím pádem nemají k dispozici kolečko). Další možnosti ovládání vizualizace se nacházejí v dokumentaci knihovny DLL Helix 3D Toolkit⁵

Budovy jsou zcela konfigurovatelné, dvojitým kliknutím na plochu střechy levým tlačítkem myši se daná střecha stane editovatelnou a pomocí zobrazených posuvníků na krajích střechy lze střechu upravit do požadovaných rozměrů. Pomocí posuvníků se mohou upravovat rozměry šířky, délky a zkosení střechy. Druhou možností editace střechy je najetí myši na aktivní prvek střechy (například jednotlivé posuvníky), kdy se automaticky zaktivuje příslušné textové pole v nabídce *Hodnoty budov 3D vizualizace*, a pouhým napsáním požadovaných rozměrů na klávesnici a potvrzením klávesou Enter se dané

⁵URL: <http://helixtoolkit.codeplex.com/wikipage?title=Input%20gestures&referringTitle=Documentation> [cit. 2012-03-01].

rozměry použijí (v této nabídce se také zobrazují aktuální souřadnice myši nad střechou). Jedná se o rychlý způsob zadávání rozměrů známý z většiny CAD systémů.

Další možností pokročilé editace střechy nebo budovy je kontextová nabídka zobrazená po kliknutí pravým tlačítkem na plochu střechy. Tato kontextová nabídka nabízí tyto možnosti pro přehlednost popsané v Tabulce 5.

Parametr	Popis
<i>Vlastnosti strany střechy</i>	Zobrazí dialogové okno pro nastavení sklonu strany střechy a okraje, na který se nebudou rozmísťovat FVP
<i>Rozmístit FVP na stranu střechy</i>	Automatickým výpočtem se na danou stranu střechy rozmístí FVP (po výpočtu a vykreslení FVK se v notificační zprávě zobrazí informace o počtu FVK)
<i>Přidat nový FVP</i>	Přidá na střechu nový FVP
<i>Vymazat FVP strany střechy</i>	Odstraní rozmístěné FVP ze strany dané střechy
<i>Vypočítat sluneční záření pro FVP strany střechy</i>	Otevře okno <i>Výpočty slunečního záření</i> a automaticky provede výpočet slunečního záření pro FVP strany střechy
<i>Přidat nový objekt (obdélník/elipsa)</i>	Na stranu střechy na danou pozici umístí nový objekt (obdélník/elipsu)
<i>Vymazat objekty strany střechy</i>	Odstraní všechny objekty ze strany dané střechy
<i>Nastavovat logicky stejné hodnoty</i>	Při změně rozměrů jedné strany střechy se automaticky nastavují stejné rozměry na opačné straně střechy
<i>Vlastnosti budovy</i>	Zobrazí dialogové okno <i>Vlastnosti budovy</i> pro nastavení posunu, natočení a výšky budovy a dále viditelných stran střech.
<i>Přidat budovu</i>	Přidá novou budovu do vizualizace
<i>Odstranit budovu</i>	Odstraní budovu z vizualizace

Tabulka 5: Popis kontextové nabídky budovy

Jednotlivé objekty a FVP strany střechy, ať už přidané pomocí kontextové nabídky nebo automaticky rozmístěné, lze editovat podobně jako stranu střechy. Další možnosti editace (šířku, výšku, tvar a orientaci) a odstranění poskytuje také kontextová nabídka daného objektu/FVP. Pro editaci objektu/FVP strany střechy nemusí být daná strana střechy v editovatelném stavu.

5.1.7.1 Hlavní nabídka 3D vizualizace V nabídce *Projekt 3D vizualizace budov* se nachází tlačítko pro přidání nové budovy (aby bylo možné do vizualizace přidat budovu, když by vizualizace žádnou budovu neobsahovala) a také tlačítka pro uložení a načtení projektu ze souboru. Projekt je ukládán do souboru jazyka XML (Extensible Markup Language) pomocí tzv. serializace objektu. Znalý uživatel tedy může editovat některé hodnoty přímo v tomto souboru. Kořenový element *BuildingsModels* má vnořený element

Position pro pozici projektu a element *Buildings*, který obsahuje elementy *BuildingModel* popisující vlastnosti jednotlivých budov. Viz následující Výpis 1.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<BuildingsModels xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xmlns:xsd="http://
www.w3.org/2001/XMLSchema">
  <Position>
    <Lat>49.845748971695791</Lat>
    <Lng>18.145557045936584</Lng>
  </Position>
  <Buildings>
    <BuildingModel>
      <Angle>90</Angle>
      ...
    </BuildingModel>
  </Buildings>
</BuildingsModels>
```

Výpis 1: Struktura souboru projektu 3D vizualizace budov

K ukládání a načítání projektu ze souboru se váže i další možnost v podnabídce *Ostatní – Najít umístění v mapě*, kdy po kliknutí na toto tlačítko se automaticky v mapě vyhledá pozice, která je svázána s aktuálním projektem. Tato možnost se nenachází v nabídce věnované projektu z důvodu, aby byla přístupná i pouze pro 3D vizualizace terénu popisované dále v textu.

Nabídka *Slunce* nabízí zajímavou možnost animace slunečního záření, kdy při zatrženém zaškrtačacím políčku nabídky lze podle úhlu výšky a azimutu Slunce nebo podle data a času nastavovat osvětlení vizualizace, které odpovídá přirozenému osvětlení Sluncem. Další možností nabídky je provedení *Animace* osvětlení Sluncem s eventualitou nastavení *Animace do a Rychlosti animace*.

Poslední nabídka, a sice nabídka *Ostatní*, umožňuje nastavit *Průhlednost terénu s mapou* vůči terénu s texturou zohledňující sklon terénu a dále umožňuje otevřít okno *Výpočty slunečního záření*. Textura pro terén s mapou je automaticky načítána na pozadí při zobrazení okna a po načtení a vytvoření potřebné textury je tato textura nastavena na zobrazovaný terén. Vizualizaci lze taktéž pomocí tlačítek v této nabídce uložit do dvou podporovaných formátů souborů obrázků, BMP nebo PNG.

5.1.8 3D vizualizace terénu

Podobně jako okno *3D vizualizace budov* nabízí okno *3D vizualizace terénu* vizualizace, ale pouze terénu. Toto okno je vhodné především pro zobrazení nejbližšího okolí bodu zadaného v mapě. Toto okno neumožňuje spravovat model 3D vizualizace budov, ale zato vizualizuje široké okolí v rozměrech terénu 10x10 km oproti 500x500 m použitých při vizualizaci budov.

5.2 Webová aplikace

Webová aplikace vyvíjená v rámci diplomové práce je postavená také na platformě .NET s použitím technologie ASP.NET 4.0 [25] [26], jazyka JavaScript a technologie AJAX pro webové stránky a jazyka C# pro webové služby. Dále jsou v aplikaci používány například následující javascriptové knihovny jQuery [27], jQuery UI [28], Wijmo (rozšíření jQuery) [29], jqGrid (tabulky) [30], Highcharts (grafy) [31].

Při vývoji webové aplikace byl kladen velký důraz na stejnou funkčnost a na stejné ovládání jako je v desktopové verzi aplikace. Webová aplikace je věrnou kopií desktopové aplikace, ale z technologických důvodů nepodporuje 3D vizualizace. Webová verze desktopové aplikace byla vyvíjena i proto, aby mohly být všechny aplikace a moduly vyvíjené v rámci komplexního systému zabývajícího se problematikou FVS propojeny a umístěny na jednotný portál, který má za cíl poskytovat komplexní informace o slunečním záření, fotovoltaiických systémech a jejich návrzích.

Aplikace ve srovnání s webovou aplikací vytvořenou v rámci bakalářské práce byla zcela přepracována, nejen po stránce vzhledu, ale byl změněn i průběh výpočtu slunečního záření, kdy pro zobrazení dialogového okna *Výpočtů slunečního záření* nejsou použity vložené rámce. Samotný výsledek výpočtu již není zobrazen až po provedení výpočtu na straně serveru a znovu načtení stránky, ale je na stránku průběžně zobrazován pomocí moderní technologie AJAX. Jednotlivé WCF služby jsou napojeny na skriptovací manažer (Výpis 2), takže lze z kódu JavaScriptu volat přímo jejich metody.

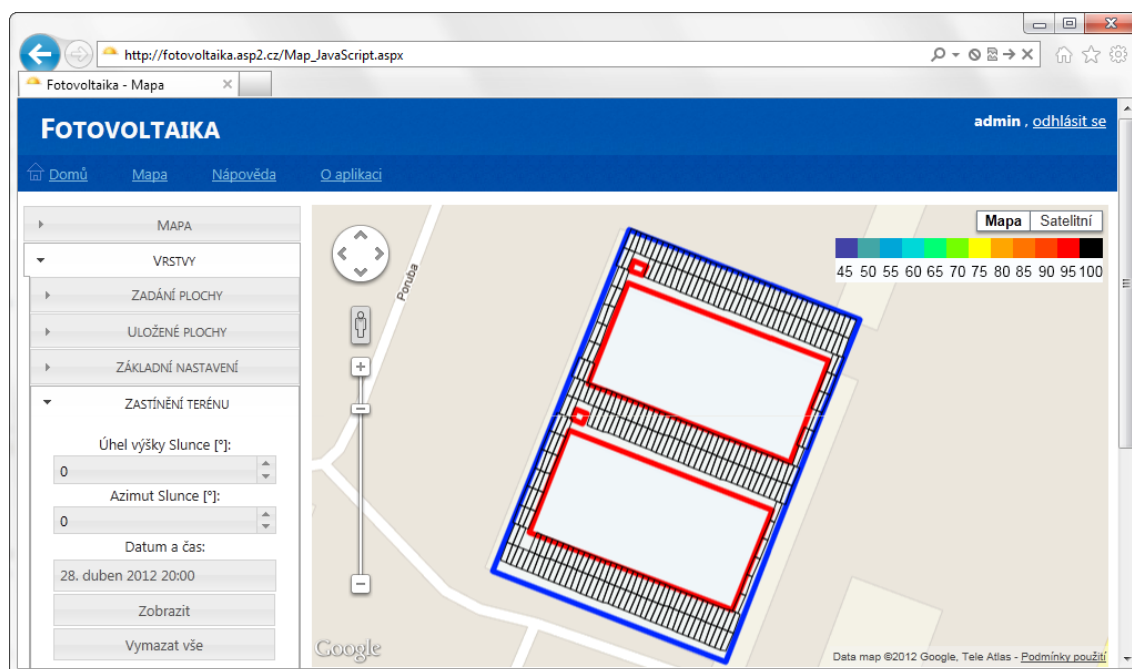
```
<asp:ScriptManager runat="server">
  <Services>
    <asp:ServiceReference Path="Services/DataServiceWCF.svc/web" />
    <asp:ServiceReference Path="Services/WebServiceWCF.svc/web" />
  </Services>
</asp:ScriptManager>
```

Výpis 2: Propojení WCF služeb na skriptovací manažer

5.2.1 Hlavní stránka aplikace

Po načtení aplikace se zobrazí úvodní stránka aplikace obsahující úvod, po kliknutí na odkaz *Mapa* se načte hlavní stránka. Odkaz *Nápověda* otevře dialogové okno se sdruženou nápovědou pro webovou a desktopovou aplikaci. Hlavní stránka má stejné rozvržení jako desktopová verze aplikace (Obrázek 27). Vpravo nahoře se nachází informace o stavu přihlášení uživatele. Pokud není uživatel přihlášen, tak po kliknutí na odkaz *Přihlásit se* se zobrazí stránka, která slouží pro samotné přihlášení, společně s možností registrace uživatele. Po úspěšném přihlášení se stejně jako v desktopové aplikaci automaticky načtou uživatelem uložené plochy z databáze webové služby a dále je zpřístupněna možnost ukládání a aktualizování ploch v databázi webové služby. Dále je po úspěšné registraci nového uživatele uživateli zobrazeno dialogové okno, které mu nabízí vytvoření vzorových dat ploch.

Webová aplikace, podobně jako desktopová aplikace, podporuje zobrazení notifikačních zpráv. Tyto zprávy se zobrazují v pravé horní části stránky. Aplikace je i lehce ovlá-



Obrázek 27: Hlavní stránka webové aplikace se zobrazenou vrstvou rozmístění FVK

datelná na mobilních zařízeních s dotykovým displejem, ale vyžaduje dílčí úpravu pro zlepšení práce s mapou.

Hlavní nabídku aplikace lze stejně, jako v desktopové aplikaci, taktéž rozdělit na tři nabídky:

1. *Mapa*,
2. *Vrstvy*,
3. *Informace*.

Následující kapitoly popisují stručně funkčnost vyjmenovaných nabídek a dialogových oken v aplikaci.

5.2.1.1 Nabídka Mapa Nabídka *Mapa* poskytuje stejnou funkčnost jako stejnojmenná nabídka z desktopové aplikace. V této nabídce se akorát nenacházejí, pro webovou aplikaci nadbytečné, podnabídky *Mapa* a *Vyrovnávací paměť*.

5.2.1.2 Nabídka Vrstvy Tato nabídka slouží, stejně jako v desktopové aplikaci, ke správě ploch a jednotlivých vrstev mapy používaných při výpočtech. Jednotlivé podnabídky jsou se svou funkcí shodné se stejnojmennými podnabídkami nabídky *Vrstvy* desktopové aplikace. Menší rozdíl se nachází v podnabídce *Uložené plochy*, kde jednotlivé plochy mají pro svou správu tlačítka *Editovat* a *Odstranit*. Další rozdíly se nachází

v podnabídce *Zastínění terénu*, kde je umožněna pouze bezpečná animace. Zaznamenané plochy v mapě lze opět jako v desktopové aplikaci odstranit dvojitém kliknutím na požadovanou plochu.

5.2.1.3 Nabídka Informace Jednotlivá textová pole v nabídce *Informace* zobrazují například informace o aktuální pozici, nadmořské výšce, orientaci, sklonu a o Slunci pro aktuální polohu a čas, stejně jako v desktopové aplikaci.

5.2.2 Nastavení výpočtu slunečního záření a konstrukce FVP

Tato dialogová okna slouží stejně jako v desktopové aplikaci pro nastavení základních parametrů výpočtu slunečního záření a konstrukce FVP. Jejich vzhled a možnosti jsou stejné, ale v *Nastavení výpočtu slunečního záření* chybí položka *Používat data zastínění terénu*, protože tyto výpočty je lepší provádět na stolním počítači.

5.2.3 Výpočty slunečního záření

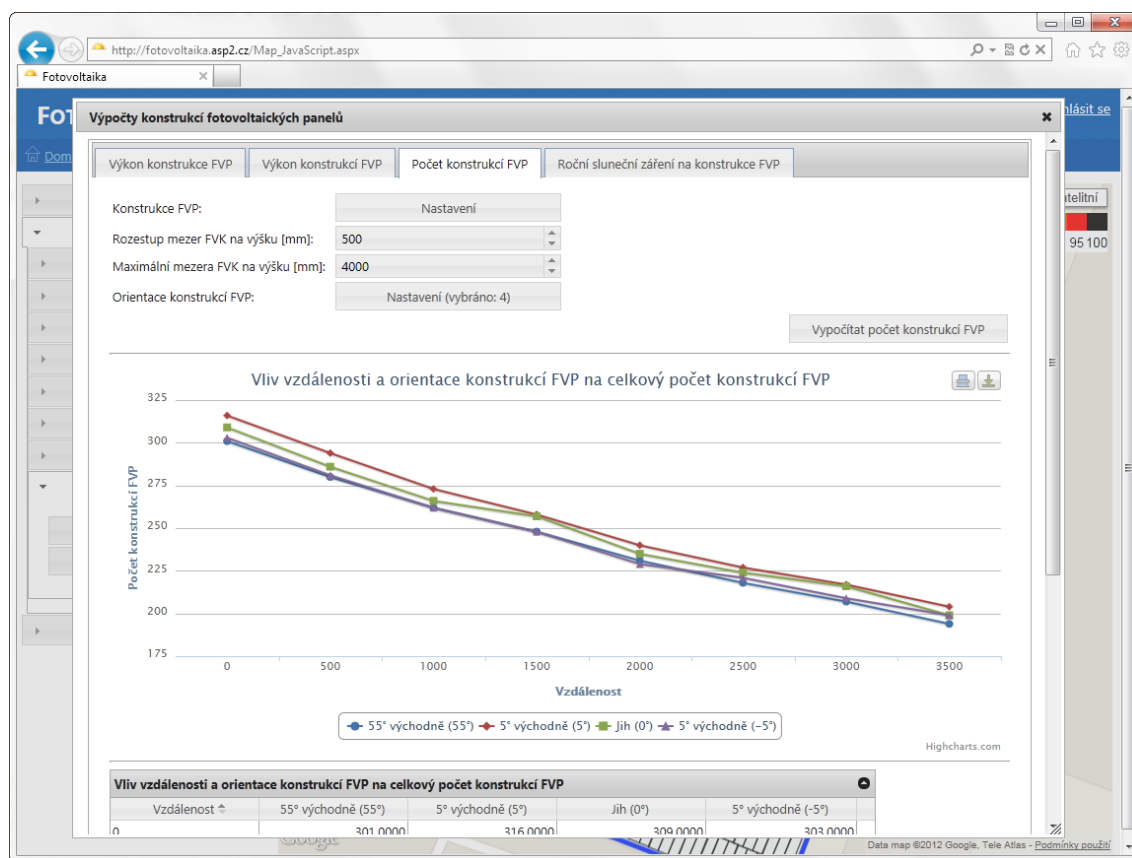
Dialogové okno *Výpočty slunečního záření* bylo, jak již bylo na začátku kapitoly zmíněno, zcela přepracováno. Pro vykreslovávání samotných grafů a tabulek byly použity nové technologie – javascriptové knihovny. Díky těmto volně dostupným knihovnám nejsou výstupní grafy a tabulky statické a je možné s nimi interaktivně pracovat (vypínat zobrazení řad v grafu, exportovat a tisknout grafy, seřazovat data ve sloupcích tabulek a podobně). Poskytovaná funkčnost je stejná jako v okně s totožným názvem v desktopové aplikaci.

5.2.4 Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů

Dialogové okno *Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů* (Obrázek 28) se stejně jako stejnojmenné okno v desktopové aplikaci používá pro výpočty nad konstrukcemi FVP. Možnosti výpočtů jsou zcela stejné v jak již popsáném oknu *Výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů* 5.1.6 z desktopové aplikace.

5.3 Windows Phone aplikace

Tato aplikace pro mobilní telefony platformy Windows Phone 7.5 [32] je vyvíjena pomocí technologie Silverlight a stejně jako desktopová aplikace také s použitím jazyka C#. Aplikace používá pouze základní knihovnu popsanou v kapitole *Vlastní aplikace* 5. Nainstalovaná mobilní aplikace plní účel zařízení pro zaznamenávání ploch ve venkovním prostředí. Aplikace umožňuje zaznamenat plochu a její překážky (včetně výšky překážky) a uložení plochy do databáze webové služby. Poté, co uživatel uloží pod svým účtem zaznamenané plochy do databáze, může se přihlásit do desktopové nebo do webové aplikace, ve kterých může provést úpravy nebo výpočty nad zaznamenanými plochami.

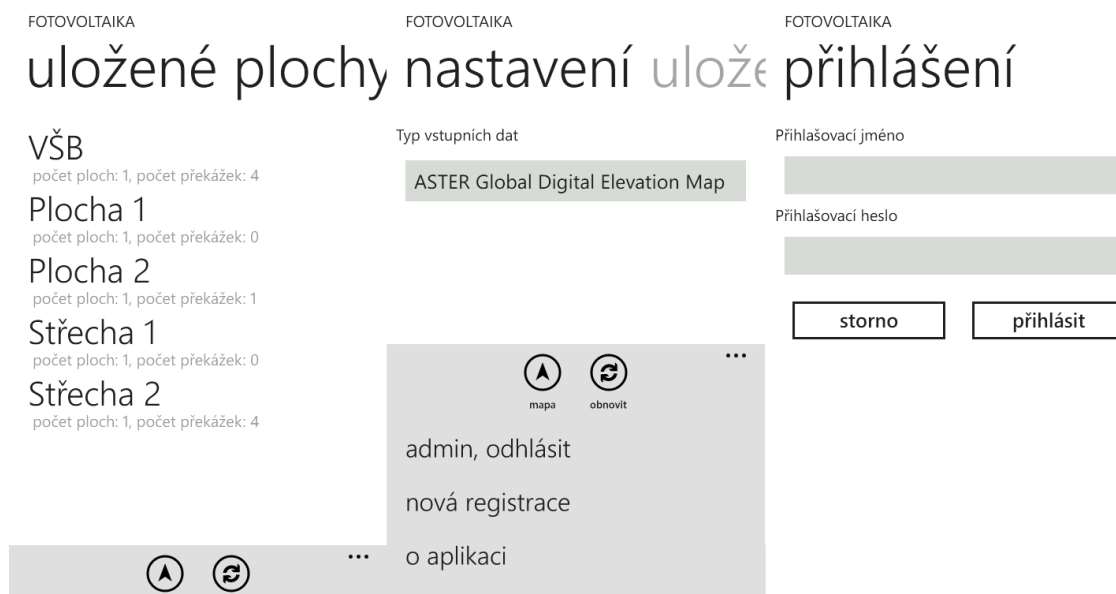


Obrázek 28: Dialogové okno výpočtů konstrukcí fotovoltaických panelů s příkladem výpočtu počtu konstrukcí FVP

Všechny komunikace s webovými službami se provádějí asynchronně tak, aby nedocházelo k „zamrznutí“ uživatelského rozhraní během zpracovávání požadavku webovou službou. Při provádění výpočtu webovou službou je navíc uživatel informován o průběhu výpočtu. Uživatel aplikace je dále průběžně informován o vykonávání jednotlivých akcí zobrazením notifikačních zpráv. Tyto zprávy slouží jak pro informování o úspěšně provedených akcích (zelené podbarvení), tak i o neúspěšně provedených akcích (červené podbarvení) a jejich možném řešení. Například se v těchto zprávách zobrazují zprávy o stavu uložení ploch do databáze nebo výsledek výpočtu zaznamenané vzdálenosti.

5.3.1 Hlavní stránka aplikace

Po spuštění aplikace se zobrazí výchozí stránka (Obrázek 29) se zobrazenými *Uloženými plochami*, které se automaticky načtou z webové služby, pokud uživatel již byl nebo je přihlášen a nedošlo k odhlášení (aplikace si pamatuje přihlášeného uživatele i po ukončení aplikace).



Obrázek 29: Hlavní stránky Windows Phone aplikace

Po klepnutí na název uložených ploch se vybraná plocha načte z webové služby a zobrazí do *Mapy*. Odstranění plochy z databáze webové služby se provede klepnutím na název plochy, kterou chce uživatel odstranit, jejím podržením a potvrzením odstranění plochy v zobrazeném dialogu.

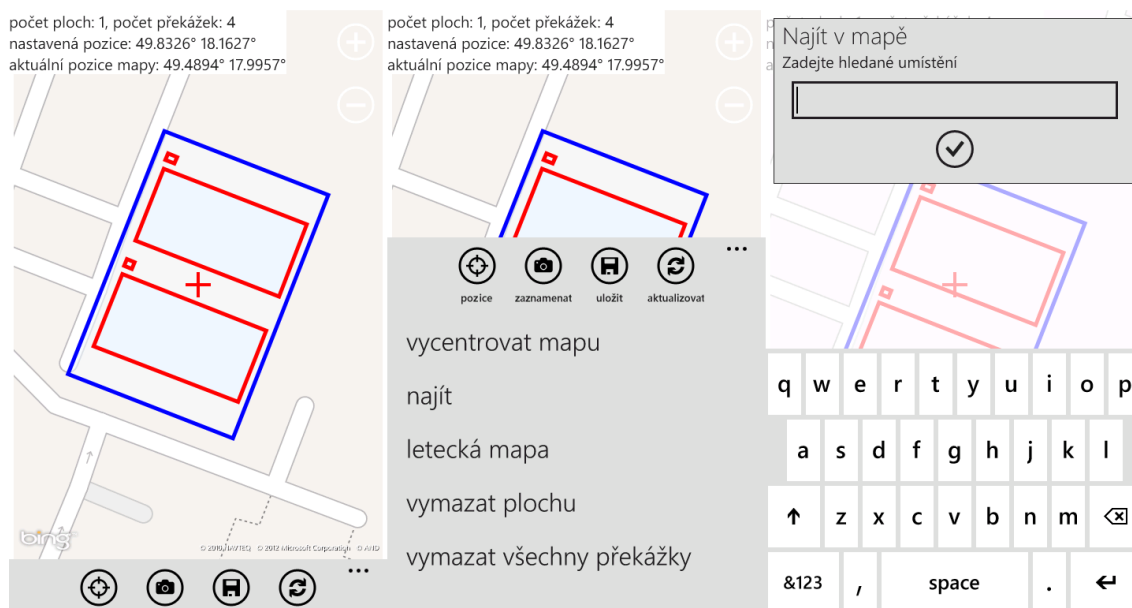
Při přesunutí zobrazení doleva se zobrazí stránka *Nastavení* pro nastavení *Typu vstupních dat*. Mobilní aplikace podporuje, stejně jako ostatní aplikace, všechny tři druhy vstupních dat, které jsou popsány v kapitole *Vstupní data* 3.

Po klepnutí na ikonu *Mapa* (↗) se zobrazí stránka *Mapa*, která slouží pro zobrazování a spravování ploch a hledání a nastavování pozice pro měření. Po klepnutí na ikonu *Obnovit* (↻) dojde k novému načtení informací o zadaných plochách z databáze webové služby.

Pro zobrazení stránky pro přihlášení k účtu slouží možnost *Přihlásit se* dostupná po klepnutí na ikonu *Další* (⋮). Po klepnutí na možnost *Nová registrace* dojde k otevření webové stránky s formulářem pro registraci nového uživatele. Klepnutím na možnost *O aplikaci* se zobrazí základní informace o aplikaci a autorských právech.

5.3.2 Stránka Mapa

Tato stránka (Obrázek 30) slouží pro zobrazování a mazání ploch. Dále se tato stránka používá pro uložení ploch do databáze webové služby, případně aktualizaci ploch, které se v databázi již nacházejí.



Obrázek 30: Stránka Mapa Windows Phone aplikace se zaznamenanou plochou

V horní části stránky se zobrazují informace o počtu již zaznamenaných ploch a informace o nastavené pozici (pozice, která slouží pro zaznamenání plochy) a aktuální pozici mapy.

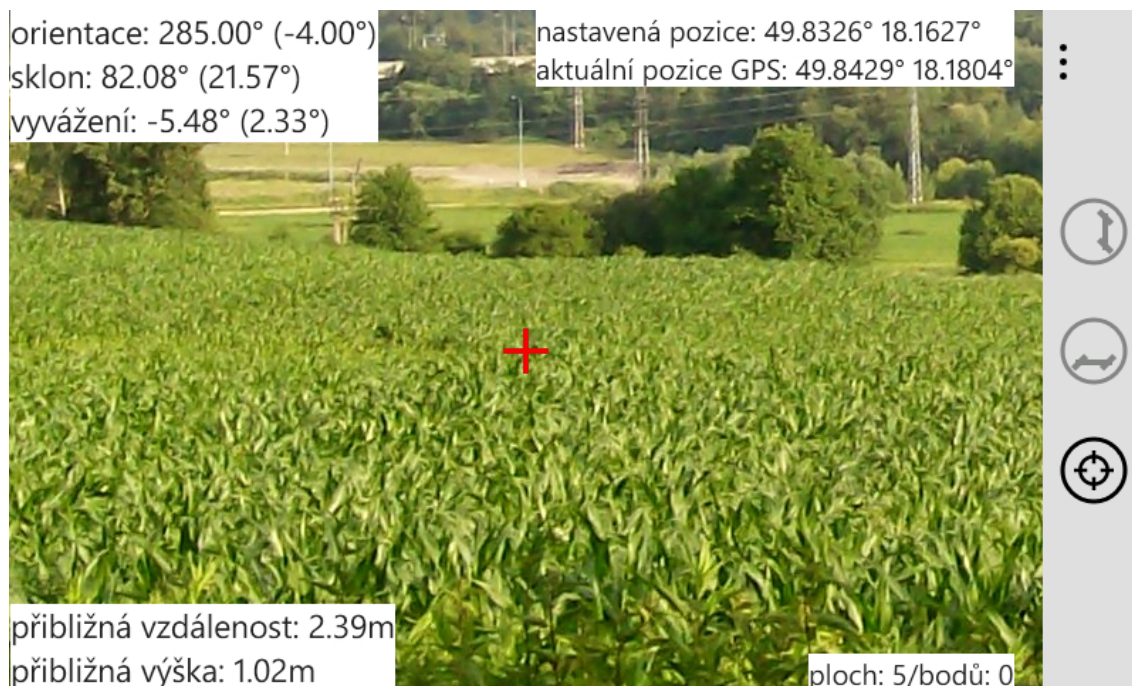
Po klepnutí na ikonu *Pozice* (📍) se aktuální pozice mapy nastaví jako pozice pro zaznamenání plochy. Po klepnutí na ikonu *Zaznamenat* (📌) se zobrazí stránka *Zaznamenání ploch*, která slouží pro samotné zaznamenání ploch. Klepnutím na ikonu *Uložit* (💾) dojde k zobrazení výzvy pro zadání názvu pro ukládanou plochu do databáze webové služby. Ikona *Aktualizovat* (🔄) se používá pro aktualizaci ploch v databázi webové služby. Tato možnost nemusí být vždy k dispozici. Je povolena tehdy, když uživatel načte plochu z databáze webové služby.

Dále tato stránka nabízí možnosti:

- *Vycentrování mapy* (vystředění a přiblížení mapy na zadané plochy),
- hledání v mapě pomocí možnosti *Najít*,
- přepínání podkladů mapy mezi *Leteckou mapou* a *Obecnou mapou*,
- *Vymazání plochy*,
- *Vymazání všech překážek*.

5.3.3 Stránka Zaznamenání ploch




Pomocí této stránky (Obrázek 31) lze zaznamenávat jednotlivé body ploch. Samotný výpočet pozice a výšky bodu je popsán v části *Výpočet vzdálenosti a výšky objektu pomocí mobilního telefonu 4.4*.



Obrázek 31: Stránka ve Windows Phone aplikaci sloužící pro zaznamenání ploch

Měření je optimalizováno jak pro natočení telefonu na levou, tak i na pravou stranu. Při zobrazení stránky se zobrazí výzva k zadání výšky umístění telefonu. Tento údaj je stěžejní při výpočtu vzdáleností a výšky objektů.

V levé horní části stránky se zobrazují aktuální informace o orientaci (data kompasu – při měření výšky se zobrazuje odchylka od změřeného bodu vzdálenosti), sklonu (úhel natočení mobilního telefonu v ose X – při měření výšky se zobrazuje odchylka od změřeného bodu vzdálenosti) a vyvážení (úhel natočení mobilního telefonu v ose Y – při měření výšky se zobrazuje odchylka od změřeného bodu vzdálenosti). Dále se v pravé horní části stránky zobrazuje informace o zaznamenané pozici (pozice, která slouží pro zaznamenání plochy) a o aktuální pozici získané ze senzoru GPS. V levé spodní části se při měření zobrazuje přibližná vzdálenost bodu, případně u měření překážky její přibližná výška. V pravém dolním rohu se zobrazují informace o počtu ploch a zaznamenaných bodů (podle toho, zda se zaznamenává plocha nebo překážka plochy).

Klepnutím na ikonu *Pozice*  se aktuální pozice ze senzoru GPS nastaví jako pozice pro zaznamenání plochy. Ikony *Výška*  a *Vzdálenost*  slouží pro samotné měření, ikony jsou k dispozici podle prováděného měření.

Tato stránka nabízí také následující možnosti:

- *Zadání výšky umístění telefonu* – zobrazí výzvu pro zadání výšky umístění telefonu,
- *Zapnutí/Vypnutí měření v rovině* – vhodné při měření na rovném terénu nebo při měření nikoliv z úrovně terénu (výpočet není/je ovlivňován nadmořskou výškou), například ploché střechy,
- *Zaznamenání nové plochy* – vymaže existující a začne zaznamenávat novou plochu,
- *Zaznamenání další překážky* – slouží pro zaznamenání další překážky,
- *Vymazání plochy*,
- *Vymazání všech překážek a*
- *Nápovědu.*

5.3.4 Návrh Windows Phone aplikace

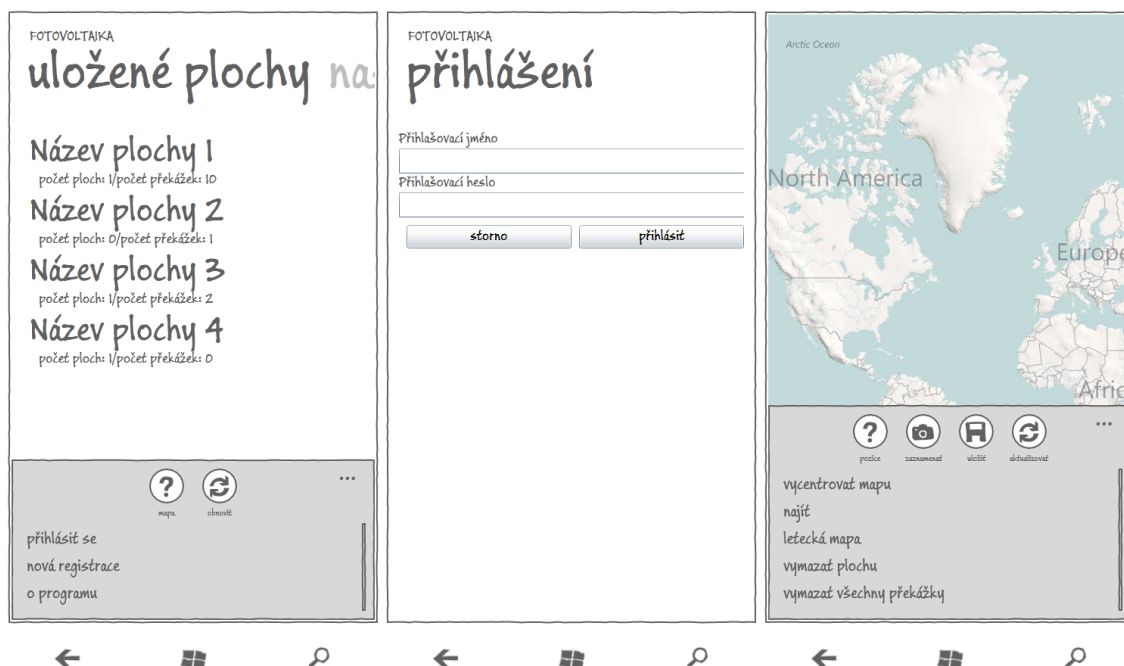
Pro základní návrh uživatelského prostředí byla použita volně dostupná šablona Sketch-Flow ⁶ pro Windows Phone, která se používá v editoru SketchFlow aplikace Expression Blend a slouží pro jednoduché vytváření vizuálního prototypu aplikace. V editoru SketchFlow lze jednoduše ladit první verze aplikace a pomocí návrhu v grafickém prostředí modelovat objektový model celé aplikace. Editor podporuje všechny ovládací prvky podporované skutečnou aplikací, takže vývoj byl zcela jednoduchý. Součástí editoru je i tvorba poznámek přímo do prototypu aplikace. Současně je podporován export dokumentace prototypu do dokumentu aplikace Microsoft Word, který obsahuje souhrn všech obrázků stránek (Obrázek 32) orientovaných jak na výšku, tak i na šířku a schéma interakce stránek aplikace (Obrázek 33).

5.4 Webové služby

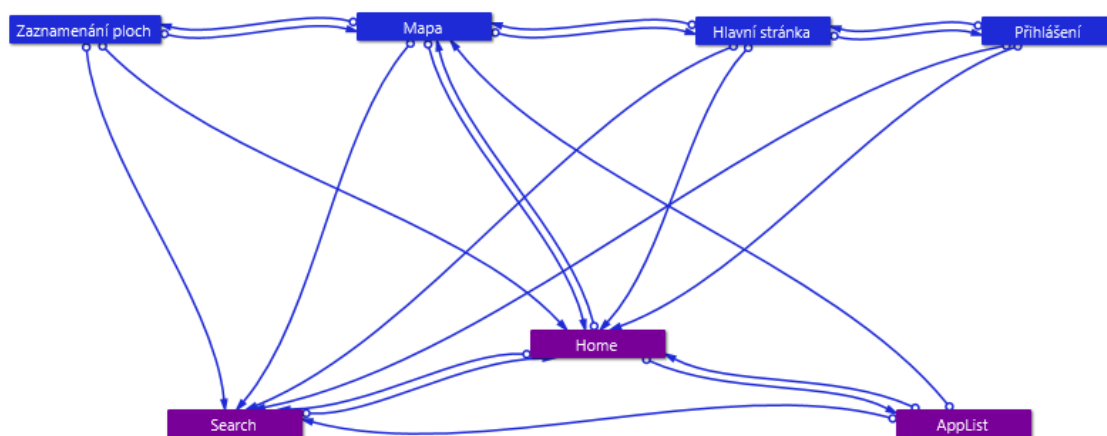
Všechny vyvíjené aplikace jsou napojeny na webové služby, které byly vytvořeny v rámci diplomové práce. Celkem byly vytvořeny čtyři webové služby:

1. Autentizační webová služba – služba poskytující ověření uživatele, aby mohl komunikovat s databázovou WCF službou.
2. Databázová WCF služba – služba pro spravování dat uložených ploch v databázi pro přihlášené uživatele.
3. Služby poskytující výpočty:
 - WCF služba a
 - Webová služba.

⁶URL: <<http://wp7sketchflow.codeplex.com/>> [cit. 2012-03-01]



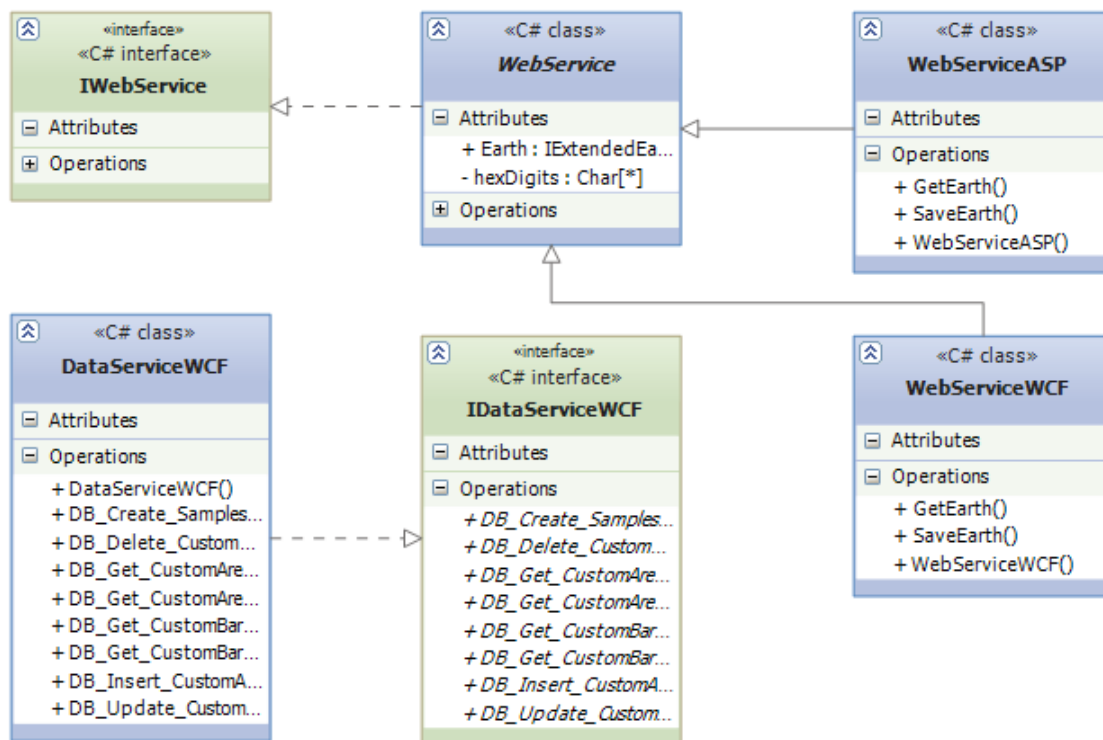
Obrázek 32: Návrh jednotlivých stránek Windows Phone aplikace



Obrázek 33: Schéma interakce stránek Windows Phone aplikace

5.4.1 Autentizační služba

Autentizační a databázová služba poskytují základ pro propojení vlastních aplikací. Jejich pomocí může mít uživatel k dispozici všechny své uložené plochy na všech popisovaných aplikacích. Autentizace klienta se provádí pomocí technologie WCF a pomocí základního typu ověření klienta na úrovni transportu, kdy jsou přenášena data zašifro-



Obrázek 34: Třídní diagram webových služeb

vána nejčastěji pomocí SSL. Následující Obrázek 35 zobrazuje sekvenční diagramy pro přihlášení a odhlášení uživatele v základní knihovně DLL, samotné přihlášení či odhlášení uživatele probíhá v samotných aplikacích.

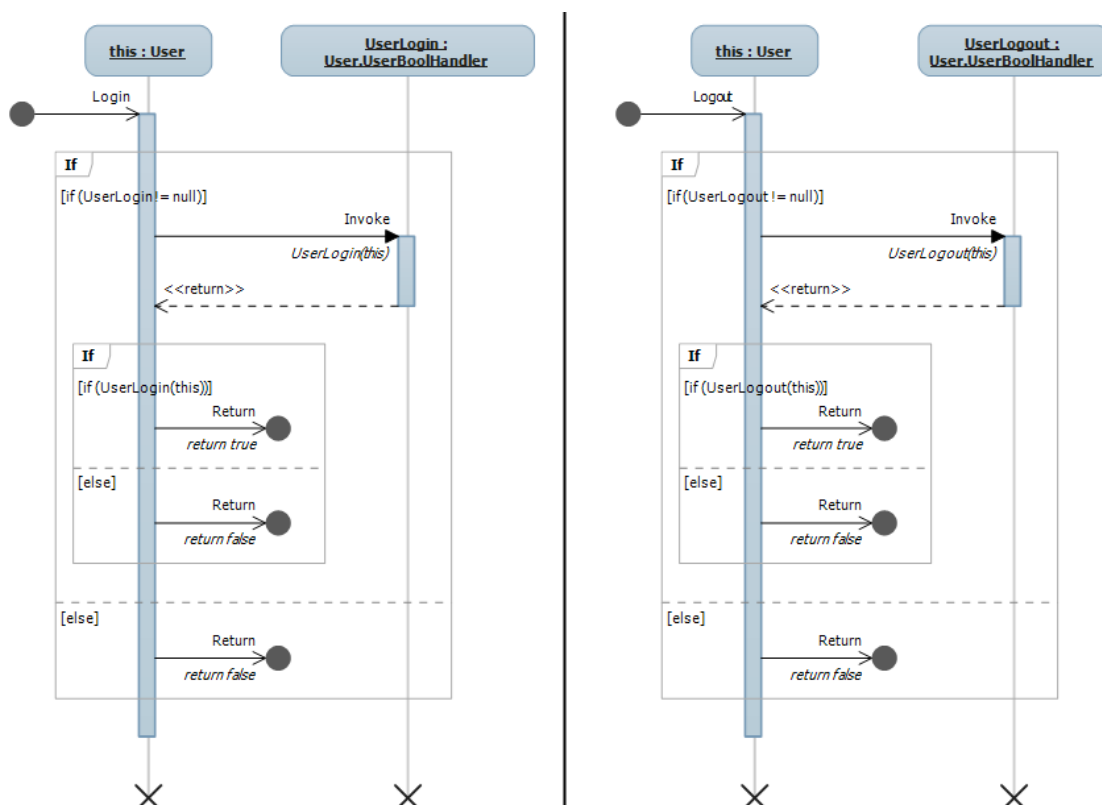
5.4.2 Databázová WCF služba

Databázová služba poskytuje základní rozhraní pro správu ploch ve všech aplikacích. Její pomocí lze snadno získávat seznam ploch, a dále přidávat, aktualizovat a mazat plochy právě přihlášeného uživatele.

Výpis 4 ukazuje implementaci kontraktu IDataServiceWCF (Výpis 3) databázové služby. Důležitý je atribut *PrincipalPermission*, který umožňuje volání této metody pouze ověřeným uživatelům.

```

[ServiceContract(Namespace = "Services", SessionMode = SessionMode.Allowed)]
public interface IDataServiceWCF
{
    [OperationContract]
    Earth.Message DB_Insert_CustomAreaArray_CustomBarriersArray(string label, List<
        PointLatLng> customAreaArray, List<List<PointLatLng>> customBarriersArray, List<List<
        Point>> customBarriersHeightsArray);
  
```

Obrázek 35: Sekvenční diagram pro přihlášení a odhlášení uživatele

```

    ...
}

```

Výpis 3: Kontrakt databázové služby IDataServiceWCF

```

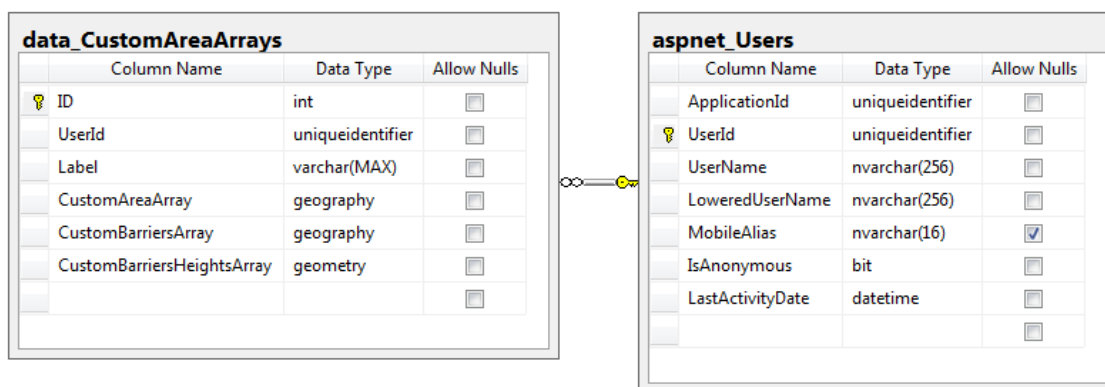
public class DataServiceWCF : IDataServiceWCF
{
    public DataServiceWCF()
    {
        Thread.CurrentPrincipal = HttpContext.Current.User;
    }

    [PrincipalPermission(SecurityAction.Demand, Authenticated = true)]
    public Earth.Message DB_Insert_CustomAreaArray_CustomBarriersArray(string label, List<
        PointLatLng> customAreaArray, List<List<PointLatLng>> customBarriersArray, List<List<
        Point>> customBarriersHeightsArray)
    {
        ...
    }
    ...
}

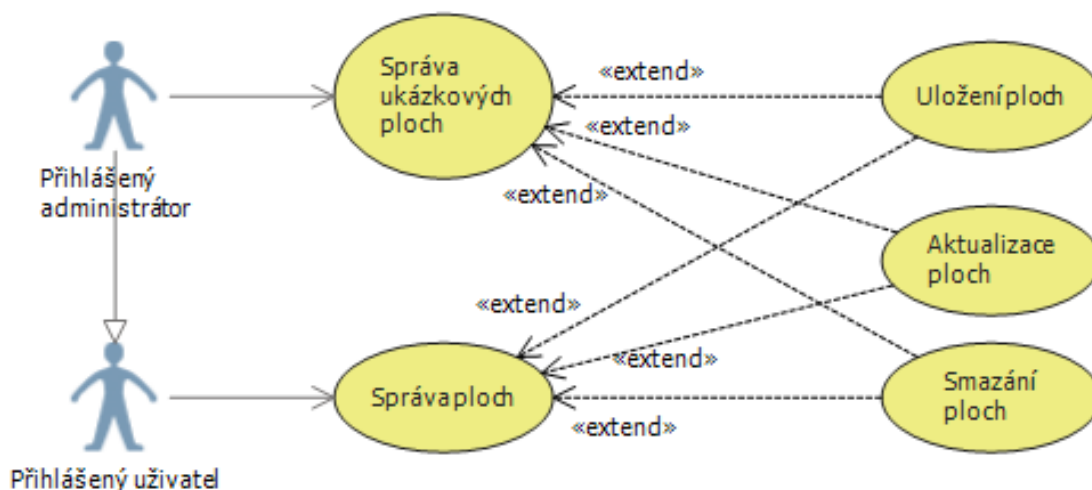
```

Výpis 4: Implementace kontraktu IDataServiceWCF databázové služby

Následující Obrázek 36 ilustruje schéma tabulky, která slouží v databázi pro uložení ploch. Každý záznam v tabulce má jedinečný identifikátor *ID*, dále *UserId* je cizí klíč jedinečného identifikátoru uživatele z tabulky *aspnet_Users*, *Label* slouží pro název zadané plochy a do *CustomAreaArray*, *CustomBarriersArray* a *CustomBarriersHeightsArray* se ukládá zaznamenaná plocha, překážky a jejich výšky pomocí datových typů *geography* a *geometry*.



Obrázek 36: Schéma tabulky pro uložení ploch v databázi

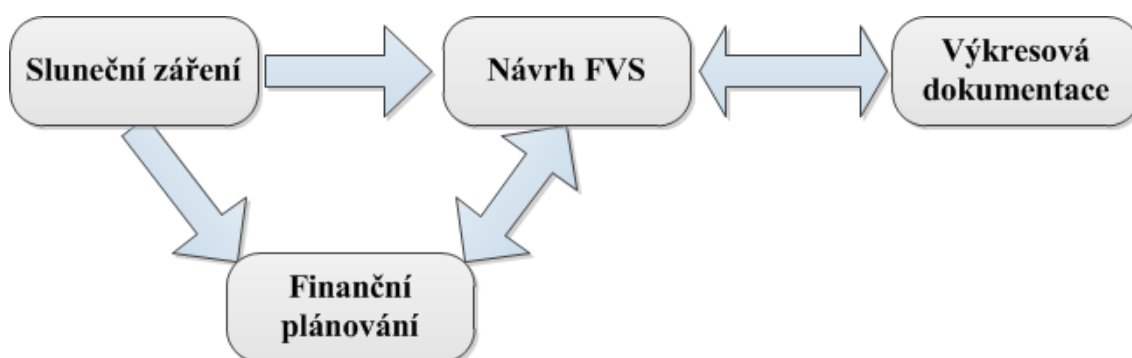


Obrázek 37: Diagram případů užití správy ploch v databázi

5.4.3 Webové služby poskytující výpočty

Tyto služby byly navrženy tak, aby používaly společnou třídu a poskytovaly tak stejné výpočty. Protože každá služba používá jiný způsob přístupu k relaci uživatele, je tento přístup ošetřen v jednotlivých vystavených třídách daných služeb.

Jelikož je aplikace z této diplomové práce součástí komplexního systému zabývajícího se problematikou FVS (Obrázek 38), je webová služba používána i ostatními moduly tohoto systému. Webovou službu používá Bc. Martin Gardoň ve své diplomové práci, pro svou modulovou část výkresové dokumentace, konkrétně pro zjišťování optimální vzdálenosti a orientace konstrukcí FVP. Dále jsou tyto webové služby používány i v diplomové práci Bc. Tomáše Bílka, který se zabývá komplexním návrhem fotovoltaických systémů, a webovou službu používá pro výpočty úhrnů slunečního záření.



Obrázek 38: Znázornění komunikace mezi jednotlivými moduly FVS

WCF službu používá sice zatím pouze webová a Windows Phone aplikace, ale použití této služby není omezeno pouze na tyto dvě aplikace a mohla by být v budoucnu použita i v desktopové verzi aplikace. Použily by se metody, které používá převážně již webová aplikace, a tím by se omezily požadavky na výkon lokálního počítače.

5.4.4 Ostatní webové služby

Dále je ve vlastní knihovně DLL použita geografická databáze GeoNames ⁷ a její dvě webové služby, konkrétně SRTM3 a ASTERGDEM. Tyto dvě služby byly při vývoji aplikací používány pro kontrolu správnosti údajů nadmořských výšek získaných ze své aplikace, ale tato funkčnost byla ponechána i do finální verze aplikací, kde lze tyto údaje použít při místní nedostupnosti souborů dat nadmořských výšek. Ze své podstaty ale nejsou vhodné pro komplexní výpočty, jako jsou například výpočty konstrukcí fotovoltaických panelů.

⁷URL: <<http://www.geonames.org/export/web-services.html>> [cit. 2012-03-01]

6 Testování vlastních aplikací

Všechny vlastní aplikace byly řádně testovány na následujících dvou osobních počítačích:

1. AMD Athlon™ 64 X2 5000+ 2,6 GHz, 4 GB RAM, Windows 7 x64,
2. Intel Atom 1,6 GHz, 1,5 GB RAM, Windows XP.

6.1 Testování desktopové aplikace

Desktopová aplikace je optimalizována na minimální rozlišení displeje 1024x600. Tato optimalizace spočívala například v automatickém sbalování nabídek a uspořádání jednotlivých podnabídek v hlavním okně aplikace tak, aby se každá podnabídka zobrazila vždy při tomto minimálním rozlišení celá. Další optimalizace spočívala v možnosti skrytí panelů v oknech výpočtů, jenž umožňuje zobrazit větší, a tím pádem přehlednější grafy.

Desktopová aplikace byla na uvedených osobních počítačích v rámci jejich možností funkční. U druhého osobního počítače byl znát jeho menší celkový výkon (pomalejší procesor, pevný disk a grafický čip spolu s menší operační pamětí), který se projevoval v pomalejším načítání datových souborů a zpracování výpočtů. Také díky malému grafickému výkonu je použití 3D vizualizací velmi omezené (malá snímková frekvence vizualizací).

6.2 Testování webové aplikace

Webová aplikace byla při vývoji průběžně publikována na web⁸ použitý již v bakalářské práci. Ale po zjištění, že daný webhosting nepodporuje v databázi prostorová (spatial) data, byl hledán další webhosting, který by mohl být použit. Dále byly tedy stránky publikovány na volně dostupný webhosting od společnosti Somee.com⁹. U tohoto webhostingu bylo možné data z databáze webové služby načítat, ale kvůli chybějící knihovně pro vytvoření záznamu, který se ukládá do tabulky databáze, nebylo možné plochy ukládat. Nakonec byly stránky publikovány na volně dostupný webhosting od české společnosti ZONER software¹⁰, u kterého se žádné problémy nevyskytly a aplikace je zcela funkční. Omezení tohoto webhostingu ale spočívá v malém dostupném diskovém prostoru, který činí pouze 25 MB. Z tohoto důvodu je webové aplikaci k dispozici pouze jeden soubor dat nadmořských výšek SRTM a ASTER GDEM, a proto je funkčnost publikované webové aplikace omezena pouze na Ostravu a okolí (konkrétně na zeměpisné souřadnice 49°–50° severní šířky a 18°–19° východní délky). Zobrazení zastínění terénu také není z tohoto důvodu k dispozici.

Při vývoji aplikace byl kladen velký důraz na celkovou rychlost webových stránek. Byly provedeny následující optimalizace:

⁸URL: <<http://fotovoltaika.aspone.cz/>>

⁹URL: <<http://fotovoltaika.somee.com/>>

¹⁰URL: <<http://fotovoltaika.asp2.cz/>>

- Minimalizace kódu JavaScriptu a CSS pomocí rozšíření Minifier¹¹ sady Visual Studio, které provádí například odstranění komentářů, mezer, tabelátorů a odřádkování, zkrácení identifikátorů.
- Sloučení a uložení souborů jazyka JavaScript a CSS do mezipaměti¹² pro jejich rychlejší zpracování a minimalizaci počtu HTTP dotazů.
- Komprimace obsahu pomocí algoritmu GZIP.

Funkčnost webové aplikace byla testována a optimalizována v následujících verzích internetových prohlížečů:

- Internet Explorer 9.0,
- Internet Explorer 8.0,
- Mozilla Firefox 11.0,
- Opera 10.5 a
- Google Chrome 17.0.

Ve všech zmíněných prohlížečích na uvedených osobních počítačích byla webová aplikace zcela funkční. Nedocházelo k žádným problémům jenž jsou popsány v bakalářské práci, a které spočívaly ve špatném vykreslování mapy v internetovém prohlížeči Opera. U druhého osobního počítače byl opět znát jeho menší celkový výkon a omezení způsobené menším rozlišením displeje.

Zajímavým zjištěním při testování webové aplikace v jednotlivých internetových prohlížečích bylo, že způsob překreslování mapy při přibližování/oddalování mapy lze rozdělit na typy:

1. plynulé překreslování (podklady mapy staré úrovně jsou postupně přibližovány/oddalovány až do nové úrovně, kdy se zobrazí podklady nové úrovně),
2. skokové překreslení.

První jmenovaný způsob používají internetové prohlížeče Internet Explorer a Google Chrome, druhý způsob Mozilla Firefox a Opera. Skokové překreslení se možná i díky svému principu zdá být rychlejší.

Webová aplikace by mohla být používána i v mobilním telefonu se systémem Windows Phone 7.5, protože používá stejné jádro internetového prohlížeče Internet Explorer 9.0, ale z důvodu špatného přizpůsobení ovládání mapy v mobilním zařízení je mapa špatně ovladatelná.

¹¹URL: <<http://visualstudiogallery.msdn.microsoft.com/5469b7e2-90d7-4f54-b299-ae47e26323e6>> [cit. 2012-03-01]

¹²URL: <<http://www.codeproject.com/KB/aspnet/CssAndJavaScriptOptimizer.aspx>> [cit. 2012-03-01]

6.3 Testování Windows Phone aplikace

Windows Phone aplikace byla nejprve v rámci svého vývoje testována v emulátoru Windows Phone, ale z důvodu potřeby otestovat výstupy senzorů, které nejsou v emulátoru podporovány, byla nakonec testována na skutečném zařízení LG C900. Na zmíněném zařízení byla aplikace zcela funkční.

Aplikace byla testována ve venkovním prostředí, pro zjištění přesnosti měření vzdálenosti a výšky objektů. Bylo zjištěno, že čím přesněji se dodrží zadaná výška mobilního telefonu a čím více je uživatel blíže měřenému objektu, tím je měření přesnější. Například měření vzdálenosti, která je v reálu větší než 30 metrů není již z technologického důvodu, použití senzorů, přesné (malá změna v náklonu telefonu způsobuje velkou změnu vrácené změřené vzdálenosti). Velmi důležitá je i kalibrace senzorů telefonu (zejména kompasu), kterou si aplikace a telefon sám kontroluje.

6.4 Porovnání řešení s popsányi nástroji

Výstupy vlastních výpočtů slunečního záření byly stejně jako v bakalářské práci srovnávány s portálem PVGIS. Následující tabulky zobrazují hodnoty pro 49.832N, 18.163E. Výstupy vlastních výpočtů pro jednotlivé měsíce z ročního slunečního záření byly vyděleny počtem dní daného měsíce tak, aby byly srovnatelné s výstupem nástroje *Interaktivních map PVGIS*. *Classic PVGIS* je původní, *Climate-SAF PVGIS* je nová databáze slunečního záření.

Měsíc	Vlastní aplikace [W/m^2]		PVGIS [W/m^2]	
	Bez zastínění	Se zastíněním	Classic	Climate-SAF
Leden	960	897	795	779
Únor	1714	1641	1450	1350
Březen	2960	2830	2400	2740
Duben	4198	4112	3580	4370
Květen	5181	5123	4740	5070
Červen	5601	5530	4850	5400
Červenec	5349	5295	5090	5160
Srpen	4491	4343	4240	4690
Září	3285	3237	2800	3180
Říjen	2042	1998	1950	1830
Listopad	1130	1101	891	962
Prosinec	770	728	600	811
Celkem	37627	36834	34319	36342

Tabulka 6: Porovnání vlastních výstupů a výstupů PVGIS pro bod bez sklonu

Z uvedených tabulek je patrné, že použití dat zastínění terénu při výpočtu příznivě ovlivňuje jednotlivé výstupy, které se tak staly srovnatelnými s výstupem *Interaktivních map PVGIS*, i když jejich data pocházejí z databáze s dlouhodobými záznamy. Díky

Měsíc	Vlastní aplikace [W/m^2]		PVGIS [W/m^2]	
	Bez zastínění	Se zastíněním	Classic	Climate-SAF
Leden	1283	1265	1260	1180
Únor	2088	2068	2090	1880
Březen	3204	3186	2970	3500
Duben	4288	4272	3950	5020
Květen	5009	5006	4810	5210
Červen	5283	5283	4710	5290
Červenec	5114	5114	5050	5140
Srpen	4499	4443	4540	5160
Září	3524	3516	3350	3910
Říjen	2403	2387	2770	2560
Listopad	1471	1467	1330	1490
Prosinec	1069	1064	939	1170
Celkem	39235	39071	38023	41510

Tabulka 7: Porovnání vlastních výstupů a výstupů PVGIS pro bod se sklonem 35°

tomu, že používají vlastní databáze těchto údajů, jsou jejich výstupy mnohem rychleji zobrazené. Výstup výpočtů slunečního záření pro bod vlastních aplikací bez použití dat zastínění terénu je srovnatelně rychlý, ale při použití dat zastínění terénu výpočet trvá delší dobu. Na prvním uvedeném osobním počítači výpočet trvá přibližně minutu, protože je nutné zpracovat všech 1400 souborů dat zastínění terénu. Výpočet slunečního záření zadané plochy trvá podle velikosti zadané plochy (přesněji je závislý na počtu zobrazených objektů vrstvy zastínění terénu, účinnosti nebo nadmořské výšky), kdy výpočet pro každý bod objektu vrstvy trvá stejně dlouho jako výpočet bodu.

Co do poskytovaných možností výstupu a přesnosti výpočtů je na tom portál PVGIS lépe, díky jejich databázím. Výhodou mých aplikací je však zahrnutí větší plochy do výpočtu, jednoduchá práce s výstupem a také možnost ukládání ploch. Dalším přínosem je vykreslování různých vrstev přímo do mapy, které slouží pro zhodnocení vhodnosti umístění systému. Předností mých aplikací je taktéž výpočet optimálního rozmístění FVP a výpočet slunečního záření na plochu FVP.

Oproti bohatým možnostem programu PVsyst je výhodou mého systému webová aplikace. 3D vizualizace v mé desktopové aplikaci sice zatím nepodporují definování překážek a jiných objektů, ale samotná tvorba modelu budovy je intuitivnější, protože se většinou provádí přímo s daným modelem. Kladem také je automatické rozmístění FVP na vybranou střechu a vizualizace terénu. Díky napojení na ostatní systémy v rámci IS Fotovoltaiky jsou nejen základní možnosti srovnatelné.

6.5 Možné rozšíření vlastních aplikací

Aplikace vytvořené v rámci této práce nemusí být zaměřeny pouze na území České republiky, stejně dobře by mohly být použity třeba i na území Slovenska. Jediné, co by bylo

nutné udělat, by bylo doplnění příslušných dat nadmořských výšek a zastínění terénu, případně provedení lokalizace a globalizace aplikací.

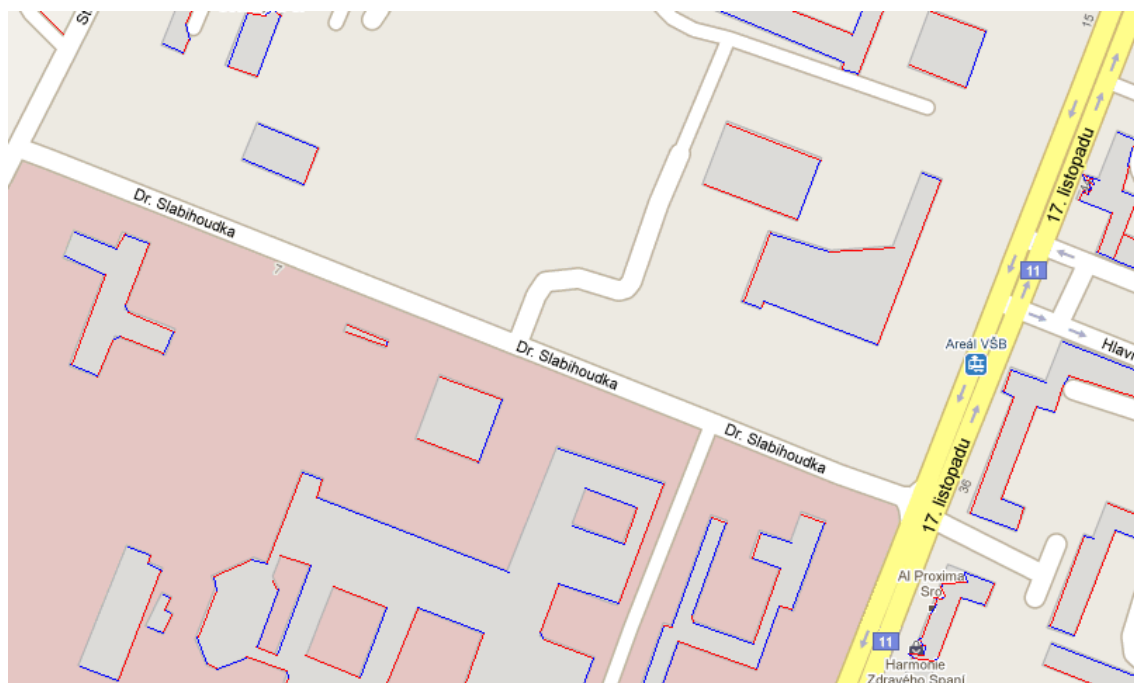
Mohl by být rovněž zkrácen hodinový interval použitý při výpočtech dat zastínění terénu na 15minutový. Stačilo by vypočítat pouze chybějící soubory (cca 3600 dalších dvojic azimutů a úhlů výšek Slunce, což představuje cca 30 GB dalších dat). Snížení intervalu by přispělo k přesnějším výsledkům výpočtů slunečního záření.

Dále by mohly být výpočty slunečního záření rozšířeny o vliv počasí, například pomocí dat získatelných z webové služby WolframAlpha¹³.

Jiným užitečným rozšířením výpočtů slunečního záření by mohlo být zastínění způsobené zaznamenanými překážkami z mobilní aplikace a možnost editace zaznamenaných překážek.

Užitečnou funkcí by také byla možnost zaznamenání budov a pozemků, například na základě vektorových dat projektu OpenStreetMap.

Zpočátku byl také vyvíjen algoritmus pro automatické rozpoznání (vektORIZACI) objektů v mapě (Obrázek 39), například když uživatel klikl na budovu v mapě, byly vektorizovány všechny budovy. Tento algoritmus ale není ve výsledných aplikacích použit.



Obrázek 39: Rozpoznání (vektORIZACE) budov v mapě

¹³URL: http://api.wolframalpha.com/v2/query?appid=XXXX&input=fog+49.5N+17.1E+6.2005&format=plaintext&includepodid=ConditionsCharts:WeatherData&podstate=ConditionsCharts:WeatherData__Month [cit. 2012-03-01], nutné APPID, které lze získat z adresy URL: <http://products.wolframalpha.com/api/> [cit. 2012-03-01]

Určitě zajímavou možností by bylo také zjišťování, zda a jak by výpočty ovlivnilo použití předpočtených dat sklonů a orientací terénu z dat nadmořských výšek. Nyní jsou tyto údaje počítány při každém požadavku a k určitému zrychlení by mohlo tedy dojít. Rozšířená knihovna je na tyto doplňková data již připravena a samotný algoritmus pro výpočet již také z části existuje.

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo prohloubení znalostí získaných v rámci bakalářské práce, tvorba aplikací zaměřených na problematiku výpočtu úhrnů slunečního záření.

Výsledkem jsou aplikace, které zásadním způsobem rozšiřují možnosti aplikací z mé bakalářské práce. Desktopová aplikace nově podporuje 2D vizualizaci rozmístění FVK a výpočty efektivního rozmístění FVK tak, aby byla účinnost solárního systému co nejvyšší. Při výpočtech slunečního záření se mohou nyní používat i data zastínění terénu, které lze také vizualizovat přímo do mapy. Dále aplikace poskytuje tvorbu 3D vizualizací teoreticky všech modelů budov a jejich okolního terénu s možností rozmístění FVP na střechy budov s tím, že je umožněno pro rozmístěné FVP vypočítat možný úhrn slunečního záření. Vytvořená webová aplikace nabízí zcela stejnou funkčnost a uživatelské prostředí jako desktopová aplikace, pouze z technologických důvodů nepodporuje 3D vizualizace. Windows Phone aplikace umožňuje měření a zaznamenávání ploch a překážek přímo v terénu. Všechny výsledné aplikace podporují vzájemné sdílení informací o uložených plochách. Aplikace jsou také součástí systému zabývajícího se problematikou FVS.

Výsledky této diplomové práce byly rovněž publikovány na vědeckých konferencích *Communications in Computer and Information Science* s článkem *Tool for sun power calculation for solar systems* (Springer, 2011) [33] a konferenci *Fifth UKSim European Symposium on* s článkem *Tool for calculation of solar radiation and solar systems design* (2011) [34], na kterých byly získány cenné zkušenosti.

Literatura

- [1] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie. *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects, and engineers*. Earthscan, 2005. ISBN 1-84407-131-6
- [2] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMEŠ, M. *Fotovoltaika: Elektřina ze slunce*. ERA, 2008. ISBN: 978-80-7366-133-5
- [3] SURI, M., HULD, T.A., DUNLOP, E.D., OSSENBRINK, H.A. Potential of solar electricity generation in the European Union member states and candidate countries. In *Solar Energy*, 81(10): 1295–1305, 2007.
- [4] SURI, M., HULD, T., CEBECAUER, T., DUNLOP, E.D. Geographic Aspects of Photovoltaics in Europe: Contribution of the PVGIS Website. In *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 1(1): 34–41, MAR 2008.
- [5] *Photovoltaic Geographical Information System*. URL: <<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/index.htm>> [cit. 2012-03-01].
- [6] PALUCH, M. *Publikování 3D modelů na internetu, možná řešení, použité technologie, ukázková řešení*. Ostrava, 2010. 53 s. Bakalářská práce na Fakultě elektrotechniky a informatiky VŠB - TUO na katedře informatiky. Vedoucí bakalářské práce Radoslav Fasuga.
- [7] *Photovoltaic Geographical Information System*. URL: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/PVGIS_new_features.html> [cit. 2012-03-01].
- [8] *PVsyst: Software for Photovoltaic Systems*. URL: <<http://www.pvsyst.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [9] *Shuttle Radar Topography Mission*. URL: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>> [cit. 2012-03-01].
- [10] *ASTER Global Digital Elevation Map*. URL: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>> [cit. 2012-03-01].
- [11] *ASTER Global Digital Elevation Map 2. verze*. URL: <<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/1.html>> [cit. 2012-03-01].
- [12] *Vydání ASTER GDEM 2. verze*. URL: <<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>> [cit. 2012-03-01].
- [13] *VTBuilder*. URL: <<http://vterrain.org/Doc/VTBuilder/overview.html>> [cit. 2012-03-01].
- [14] *GZIP*. URL: <<http://en.wikipedia.org/wiki/Gzip>> [cit. 2012-03-01].
- [15] *Task Parallel Library*. URL: <<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/dd460717.aspx>> [cit. 2012-03-01].

- [16] *Portable Library Tools*. URL: <<http://visualstudiogallery.msdn.microsoft.com/b0e0b5e9-e138-410b-ad10-00cb3caf4981>> [cit. 2012-03-01].
- [17] SHARP, J. *Microsoft Visual C# 2010 : krok za krokem*. Computer Press, 2010. ISBN 978-80-251-3147-3
- [18] PETZOLD, CH. *Mistrovství ve Windows Presentation Foundation*. Computer Press, 2008. ISBN 978-80-251-2141-2
- [19] *GMap.NET – Great Maps for Windows Forms & Presentation*. URL: <<http://greatmaps.codeplex.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [20] *visifire*. URL: <<http://code.google.com/p/visifire>> [cit. 2012-03-01].
- [21] *Helix 3D Toolkit*. URL: <<http://helixtoolkit.codeplex.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [22] *Extended WPF Toolkit*. URL: <<http://wpftoolkit.codeplex.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [23] *MSDN – Technology Regions Overview*. URL: <<http://msdn.microsoft.com/en-us/library/aa970688.aspx>> [cit. 2012-03-01].
- [24] *OpenStreetMap*. URL: <<http://www.openstreetmap.org/>> [cit. 2012-03-01].
- [25] EVJEN, B. *ASP.NET 3.5 v jazycích C# a Visual Basic : programujeme profesionálně [1]*. Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2069-9
- [26] EVJEN, B. *ASP.NET 3.5 v jazycích C# a Visual Basic : programujeme profesionálně [2]*. Computer Press, 2009. ISBN 978-80-251-2069-9
- [27] *jQuery*. URL: <<http://jquery.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [28] *jQuery UI*. URL: <<http://jqueryui.com>> [cit. 2012-03-01].
- [29] *Wijmo*. URL: <<http://wijmo.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [30] *jqGrid*. URL: <<http://www.trirand.com/blog/>> [cit. 2012-03-01].
- [31] *Highcharts*. URL: <<http://www.highcharts.com/>> [cit. 2012-03-01].
- [32] PETZOLD, CH. *Programming Windows Phone 7*. Microsoft Press, 2010. ISBN 978-0-7356-4335-2
- [33] PALUCH, M., FASUGA, R., NEMEC, M. Tool for sun power calculation for solar systems. In Vaclav Snasel, Jan Platos, and Eyas El-Qawasmeh, editors, *Digital Information Processing and Communications*, volume 188 of *Communications in Computer and Information Science*, pages 46–60. Springer, 2011.

- [34] PALUCH, M., FASUGA, R., BILEK, T. Tool for calculation of solar radiation and solar systems design. In *Computer Modeling and Simulation (EMS), 2011 Fifth UKSim European Symposium on*, pages 305-310, nov. 2011.

Seznam příloh

Příloha A: Obsah přiloženého DVD

A Obsah přiloženého DVD

Adresář	Popis
\Data	Adresář obsahující všechny podporované data nadmořských výšek a zastínění terénu
\DesktopApplication	Spustitelná verze desktopové aplikace
\Documentation	Dokumentace knihoven
\Login	Přihlašovací údaje
\Solution	Zdrojové soubory aplikací
\Text	Elektronická verze diplomové práce
\WebApplication	Soubory pro publikování webové aplikace
\WPApplication	Balíček aplikace pro Windows Phone